

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΤΣΙΟΥΜΑ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Επιβλέπων: ΔΑΤΣΙΟΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

Έκτακτο Εκπαιδευτικό Προσωπικό

ΚΟΖΑΝΗ/Νοέμβριος/2024

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ



HELLENIC DEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL
& COMPUTER ENGINEERING

Effects of the configuration of a 400 kV GIS substation at the instant of lightning strike on the computed lightning overvoltages

THESIS

TSIOUMAS DIMITRIOS

SUPERVISOR: DATSIOS ZACHARIAS

Adjunct Lecturer

KOZANI/NOVEMBER/2024

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο **«Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις»** καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Έκτακτου Εκπαιδευτικού Προσωπικού του Τμήματος κ. Δάτσιου Ζαχαρία, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Ονοματεπώνυμο Φοιτητή & Επιβλέποντα, Έτος, Πόλη

Copyright (C) Τσιούμας Δημήτριος & Δάτσιος Ζαχαρίας, 2024, Κοζάνη

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

Περίληψη

Οι κεραυνικές υπερτάσεις που εισέρχονται σε υποσταθμούς υψηλής τάσης μέσω των διασυνδεδεμένων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για τον εξοπλισμό των υποσταθμών επηρεάζοντας αρνητικά την αξιοπιστία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτιμώνται υπερτάσεις σε υποσταθμό υψηλής τάσης 400 kV GIS λόγω κεραυνικών πληγμάτων στις διασυνδεδεμένες γραμμές μεταφοράς μέσω προσομοιώσεων με το λογισμικό ATP-EMTP. Διερευνάται η επίδραση της τοπολογίας του υποσταθμού τη στιγμή του κεραυνικού πλήγματος στη γραμμή μεταφοράς. Αρχικά γίνεται εισαγωγή στους υποσταθμούς υψηλής τάσης, στις κεραυνικές υπερτάσεις που αναπτύσσονται σε αυτούς και στα μέσα προστασίας έναντι αυτών. Κατόπιν παρουσιάζεται ο υποσταθμός που θα προσομοιωθεί και το κύκλωμα προσομοίωσής του. Επίσης, αναφέρονται οι περιπτώσεις προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται και αναλύονται. Η συζήτηση των αποτελεσμάτων γίνεται με κριτήριο το βασικό επίπεδο μόνωσης του εξοπλισμού λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές τοπολογίες για την εξαγωγή κατά το δυνατόν γενικών αποτελεσμάτων.

Λέξεις Κλειδιά

Ανάστροφη διάσπαση

Κεραυνικές υπερτάσεις

Συντονισμός μονώσεων

Σφάλμα θωράκισης

Υποσταθμοί

Abstract

Lightning surges entering high-voltage substations through interconnected power transmission lines pose a significant danger to the insulation of substation equipment, negatively affecting the reliability of power systems. In this thesis, surges in a 400 kV GIS high-voltage substation due to lightning strikes to the interconnected transmission lines are evaluated through simulations using the ATP-EMTP software. The effect of the substation topology at the moment of the lightning strike on the transmission line will be investigated. Initially, an introduction to high-voltage substations, to arising lightning overvoltages, and to surge protection measures is presented. Then, the substation under study is described along with its modeling. The simulation cases are listed. Results are presented and analyzed. The discussion of the results is based on the basic insulation level of the high-voltage equipment taking into consideration the different substation topologies so as to derive generalized conclusions.

Keywords

Backflashover

Insulation Coordination

Lightning Overvoltages

Shielding Failure

Substations

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν και με υποστήριξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Ζαχαρία Δάτσιο, για την αμέριστη καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. Η αφοσίωσή του και η επιστημονική του γνώση αποτέλεσαν καταλυτικό παράγοντα για την επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συνεχή στήριξη, την κατανόηση και την αγάπη τους, που ήταν πάντα πηγή δύναμης και κουράγιου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στους φίλους και συμφοιτητές μου, που μοιράστηκαν μαζί μου αυτή τη διαδρομή, για την πολύτιμη συνεργασία και τις στιγμές αλληλεγγύης και υποστήριξης.

Με εκτίμηση,

Δημήτριος Τσιούμας

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	7
ABSTRACT	8
KEYWORDS	8
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	15
1.1 Εισαγωγή στους υποσταθμούς Υψηλής Τάσης	15
1.2 Κατηγορίες Υποσταθμών Υψηλής Τάσης	16
1.2.1 Υποσταθμοί με βάση τη λειτουργία τους	16
1.2.2 Υποσταθμοί με βάση την μόνωση του εξοπλισμού	17
1.3 Στοιχεία εξοπλισμού Υποσταθμών Υψηλής Τάσης	20
1.4 Προστασία στοιχείων εξοπλισμού έναντι υπερτάσεων	26
1.5 Στόχος της διπλωματικής εργασίας	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΕΡΑΥΝΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	31
2.1 Αιτίες ανάπτυξης υπερτάσεων μικρής διάρκειας μετώπου	31
2.2 Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας υποσταθμών υψηλής τάσης	32
2.3 Μηχανισμοί ανάπτυξης κεραυνικών υπερτάσεων σε υποσταθμούς υψηλής τάσης	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ GIS 400 KV	37
3.1 Τοπολογία και γενικά χαρακτηριστικά	37
3.2 Μοντελοποίηση	38
3.3 Περιπτώσεις προσομοίωσης	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	41
4.1 Κεραυνικό πλήγμα στον πυλώνα	41
4.1.1 Μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με μία γεννήτρια	41
4.1.2 Μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με δύο γεννήτριες	74
4.2 Κεραυνικό πλήγμα σε αγωγό φάσης	90
4.2.1 Μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με μία γεννήτρια	90
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις	

4.2.2 Μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με δύο γεννήτριες	111
4.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	127
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	129
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	131

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Παραγωγή, Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας	15
Εικόνα 2: Υποσταθμοί με βάση τη λειτουργία τους	17
Εικόνα 3: Υποσταθμός με μόνωση αέρα (AIS)	18
Εικόνα 4: Εσωτερικός υποσταθμός με μόνωση αερίου (GIS)	19
Εικόνα 5: Υποσταθμός με μικτή μόνωση (MTS)	20
Εικόνα 6: Τυπική διάταξη υποσταθμού AIS	21
Εικόνα 7: Μετασχηματιστής ισχύος	21
Εικόνα 8: ΔΙ κενού	23
Εικόνα 9: ΔΙ SF ₆	23
Εικόνα 10: ΔΙ ελαίου	23
Εικόνα 11: Διάφορα είδη αποζευκτών	23
Εικόνα 12: Διακόπτης Ισχύος, Αποζεύκτες και Γειωτές	24
Εικόνα 13: Αναχωρήσεις των γραμμών σε υποσταθμό (ζυγοί)	25
Εικόνα 14: Ζυγοί σε υποσταθμό (ταινία)	25
Εικόνα 15: Εκτροπέας υπέρτασης SiC με διάκενα	27
Εικόνα 16: Μη γραμμική συμπεριφορά (καμπύλη c) των εκτροπέων υπέρτασης Οξειδίου Μετάλλου	28
Εικόνα 18: Εκτροπείς υπέρτασης σε μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης	28
Εικόνα 17: Τυπική διάταξη εναέριας γραμμής μεταφοράς και εκτροπέα υπέρτασης	28
Εικόνα 19: Διάρκεια μετώπου και ουράς FFO	32
Εικόνα 20: Το μοντέλο της κυλιόμενης σφαίρας. Στα δεξιά φαίνεται ο μετασχηματιστής ισχύος εκτός προστασίας βάσει του μοντέλου αυτού	33
Εικόνα 22: Κεραυνικό πλήγμα σε αγωγό φάσης	36
Εικόνα 21: Κεραυνικό πλήγμα σε αγωγό προστασίας	36
Εικόνα 23: Διάταξη υποσταθμού που μελετήθηκε	37
Εικόνες 24–28 Τοπολογίες υποσταθμού προς προσομοίωση για την OHL1	42–44
Εικόνα 29: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του ΥΣ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια.	45
Εικόνες 30–34 Τοπολογίες υποσταθμού προς προσομοίωση για την OHL2	46–48
Εικόνα 35: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του ΥΣ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια.	49
Εικόνες 36–40 Τοπολογίες υποσταθμού προς προσομοίωση για την OHL3	50–52
Εικόνα 41: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του ΥΣ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια.	53
Εικόνες 42–46 Τοπολογίες υποσταθμού προς προσομοίωση για την OHL4	54–56
Εικόνα 47: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του ΥΣ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια.	57
Εικόνες 48–51 Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ	58–61

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Εικόνες 52-75 Ραβδογράμματα για τις τιμές κορυφής των διάφορων κόμβων	62-73
Εικόνες 76-83 Υπερτάσεις για δύο γεννήτριες συνδεδεμένες	74-77
Εικόνες 77-107 Ραβδογράμματα για τις τιμές κορυφής των διάφορων κόμβων με δύο γεννήτριες συνδεδεμένες	78-89
Εικόνες 108-115 Υπερτάσεις για μία γεννήτρια συνδεδεμένη και σφάλμα θωράκισης	91-98
Εικόνες 116-139 Ραβδογράμματα για τις τιμές κορυφής των διάφορων κόμβων με μία γεννήτρια συνδεδεμένη και σφάλμα θωράκισης	99-110
Εικόνες 140-147 Υπερτάσεις για δύο γεννήτριες συνδεδεμένες και σφάλμα θωράκισης	110-115
Εικόνες 148-171 Ραβδογράμματα για τις τιμές κορυφής των διάφορων κόμβων με δύο γεννήτριες συνδεδεμένες και σφάλμα θωράκισης	115-127

Κεφάλαιο 1: Υποσταθμοί υψηλής τάσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα γενικά στοιχεία των υποσταθμών και ο επιμέρους εξοπλισμός τους.

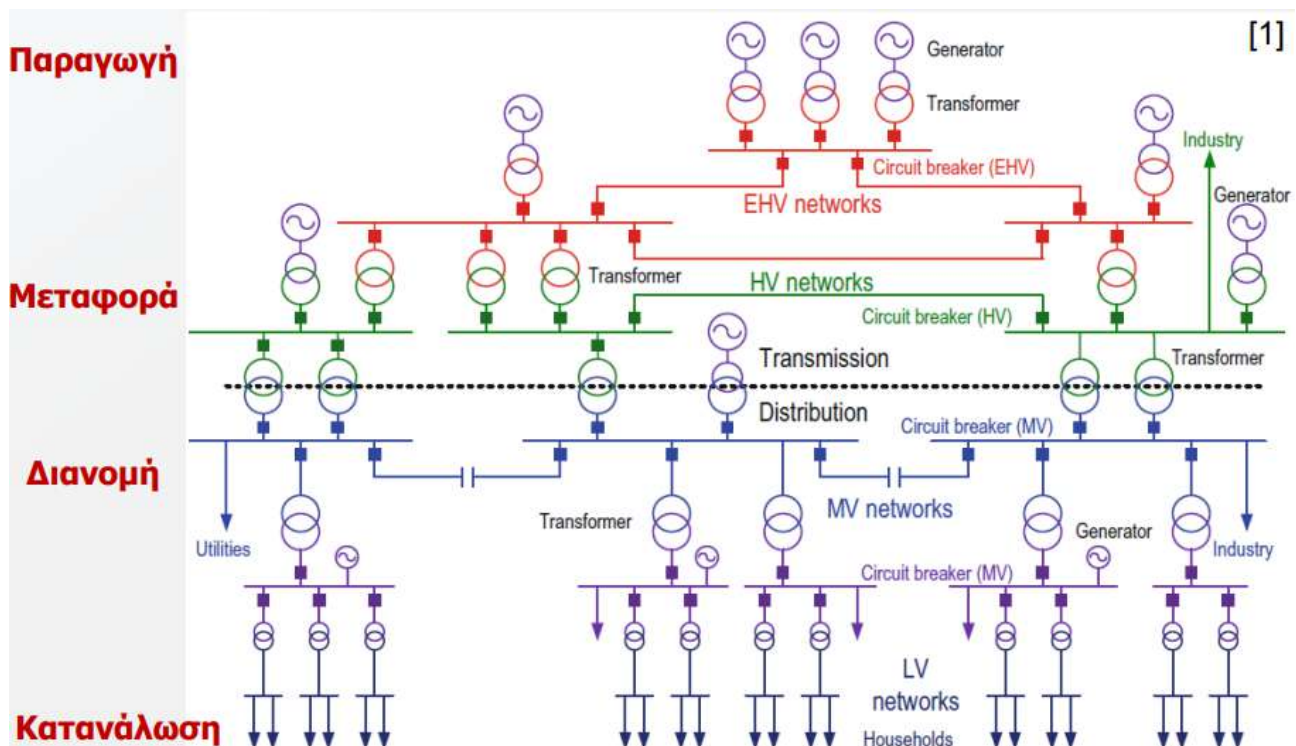
1.1 Εισαγωγή στους υποσταθμούς Υψηλής Τάσης

Οι υποσταθμοί είναι ζωτικό μέρος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, που περιλαμβάνει την παραγωγή, μεταφορά και εν τέλει την διανομή στον καταναλωτή (Εικόνα 1). Ο όρος «υποσταθμός» τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του ήταν συνυφασμένος με την εξυπηρέτηση ενός μόνο σταθμού παραγωγής.

Πλέον ο ρόλος των υποσταθμών είναι καθοριστικός καθώς επιτελούν λειτουργίες απαραίτητες για την διασφάλιση της ποιότητας του δικτύου.

Η συνολική τους λειτουργία είναι η μετατροπή ενός επιπέδου τάσης σε άλλο, ενώ είναι ικανοί να ανιχνεύουν σφάλματα στις γραμμές και μέσω διακοπτικών λειτουργιών να τις απομονώνουν για την συνολική σταθερότητα του δικτύου.

Ακόμα αποτελούν τους «κόμβους» σύνδεσης μεταξύ γραμμών μεταφοράς και διανομής για την ασφαλή σύνδεση και αποσύνδεση μιας γραμμής με την άλλη ανάλογα με τις ανάγκες, π.χ. συντήρησης.



Εικόνα 1: Παραγωγή, Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

1.2 Κατηγορίες Υποσταθμών Υψηλής Τάσης

Υπάρχουν τρεις γενικές κατηγορίες διάκρισης των υποσταθμών Υψηλής Τάσης με βάση:

- τη λειτουργία τους
- τη μόνωση του εξοπλισμού
- τη θέση της εγκατάστασης.

1.2.1 Υποσταθμοί με βάση τη λειτουργία τους

Οι Υποσταθμοί με βάση τη λειτουργία τους (Εικόνα 2) διακρίνονται σε:

1. Υποσταθμός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΥΣ ανύψωσης)
2. Υποσταθμός συστήματος (διασυνδετικοί ΥΣ μεταξύ συστημάτων)
3. Υποσταθμός διανομής (ΥΣ υποβιβασμού)
4. Υποσταθμός καταναλωτή (ΥΣ υποβιβασμού).

- Υποσταθμός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι υποσταθμοί αυτού του είδους έχουν ως βασική τους λειτουργία την ανύψωση του επιπέδου τάσης που παράγεται από τον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τη μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις. Μέσω της ανύψωσης εξασφαλίζεται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες (μικρή τιμή ρεύματος-χαμηλότερες θερμοκρασίες αγωγών) προς τους υπόλοιπους υποσταθμούς και τα δίκτυα διανομής, με τελικό προορισμό, τον καταναλωτή.

- Υποσταθμός συστήματος (διασυνδετικοί ΥΣ μεταξύ συστημάτων)

Οι υποσταθμοί αυτοί λειτουργούν ως συνδετικός «κρίκος» μεταξύ διαφορετικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Βασική λειτουργία είναι η διασύνδεση των συστημάτων ώστε να είναι απρόσκοπτη η μεταφορά ενέργειας μεταξύ περιφερειών και χωρών. Ακόμα βοηθούν στην εξισορρόπηση του φορτίου μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων του δικτύου ενώ επιτρέπουν την ευέλικτη διαχείριση της ροής ενέργειας, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την προσαρμογή σε μεταβαλλόμενες συνθήκες προσφοράς και ζήτησης.

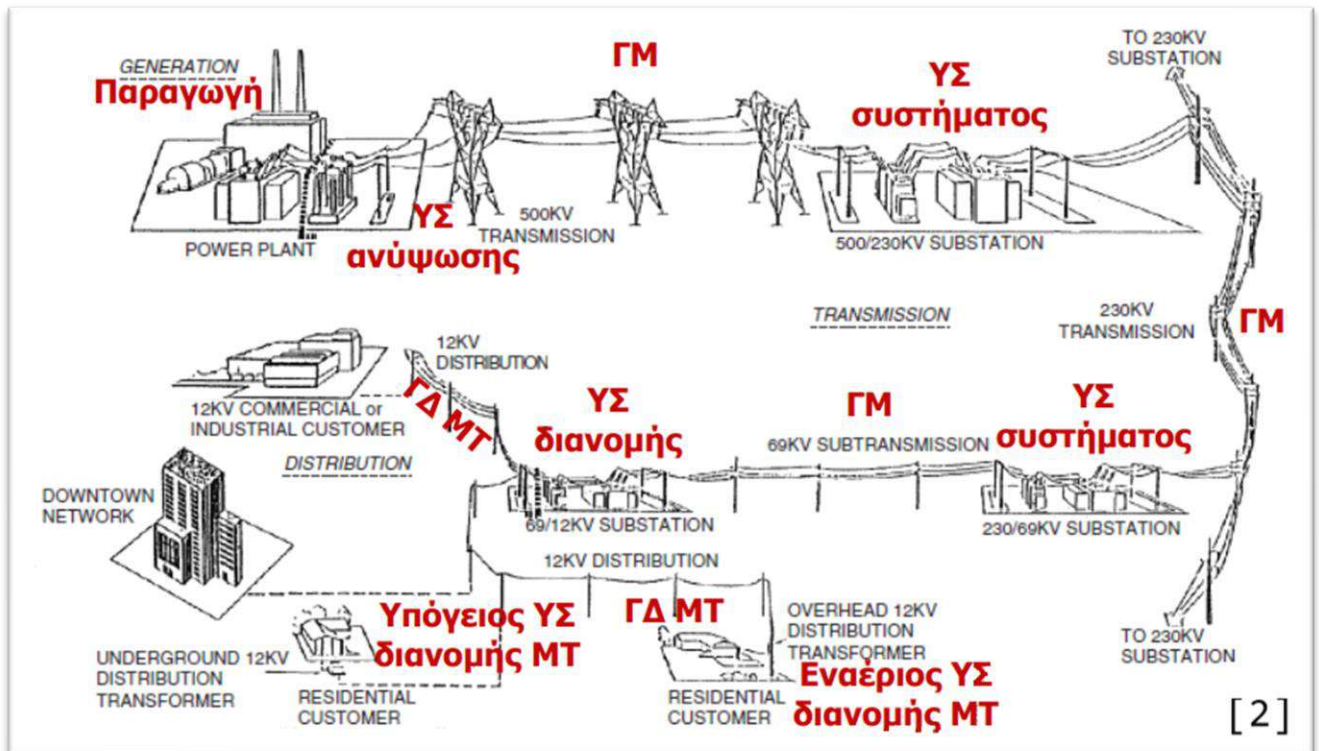
- Υποσταθμός διανομής (ΥΣ υποβιβασμού)

Ο υποσταθμός διανομής υποβιβάζει το επίπεδο τάσης της ηλεκτρικής ενέργειας που «έρχεται» από τους υποσταθμούς συστήματος ή από το δίκτυο μεταφοράς, προκειμένου να φθάσει στους καταναλωτές. Είναι δηλαδή υπεύθυνος για τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης, ώστε να τροφοδοτηθούν οι τελικοί καταναλωτές.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Υποσταθμός καταναλωτή (ΥΣ υποβιβασμού)

Ο υποσταθμός καταναλωτή αναφέρεται στον υποσταθμό που χρησιμοποιείται για τον υποβιβασμό της τάσης της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο διανομής σε επίπεδα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους τελικούς καταναλωτές. Ο υποσταθμός αυτός είναι υπεύθυνος για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε επιχειρήσεις, οικιακούς καταναλωτές και άλλους τελικούς χρήστες.



Εικόνα 2: Υποσταθμοί με βάση τη λειτουργία τους

1.2.2 Υποσταθμοί με βάση την μόνωση του εξοπλισμού

Οι Υποσταθμοί με βάση την μόνωση του εξοπλισμού τους διακρίνονται σε:

1. Υποσταθμός με μόνωση αέρα (AIS)
2. Υποσταθμός με μόνωση αερίου (GIS)
3. Υποσταθμός με μικτή μόνωση (MTS)

Συγκεκριμένα:

- Υποσταθμός με μόνωση αέρα (**AIS**)

Στους υποσταθμούς με μόνωση αέρα (Εικόνα 3) η μόνωση του εξοπλισμού γίνεται με τη χρήση ατμοσφαιρικού αέρα, όπου τα αγώγιμα στοιχεία υπό τάση δεν περικλείονται από γειωμένο περίβλημα. Αποτελεί

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



Εικόνα 3: Υποσταθμός με μόνωση αέρα (AIS)

την πιο οικονομική λύση αλλά και την πιο ογκώδη, καθώς απαιτούνται αρκετά τετραγωνικά μέτρα παραπάνω για την απαραίτητη μόνωση μέσω ατμοσφαιρικού αέρα.

- Υποσταθμός με μόνωση αερίου (**GIS**)

Οι υποσταθμοί με μόνωση αερίου (Εικόνα 4) χρησιμοποιούν αέριο μονωτικό για τα αγώγιμα μέσα και συγκεκριμένα το εξαφθοριούχο θείο (SF_6).

Οι υποσταθμοί του είδους παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Ειδικότερα, εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ασφάλεια λειτουργίας λόγω της αποτροπής δημιουργίας τόξων, ελάχιστη συντήρηση και έχουν τις μικρότερες απαιτήσεις σε χώρο, λόγω της μικρής απόστασης ασφαλείας που απαιτείται, καθώς ο εξοπλισμός περικλείεται σε γειωμένα μεταλλικά περιβλήματα.

Ωστόσο, ορισμένα από τα μειονεκτήματα της μόνωσης αερίου, περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος του αερίου SF_6 , την περιβαλλοντική επίπτωση λόγω της επίδρασης του αερίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς και την ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό για την αντιμετώπιση των σφαλμάτων, τα οποία καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χρόνο για επιδιόρθωση.



Εικόνα 4: Εσωτερικός υποσταθμός με μόνωση αερίου (GIS)

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Υποσταθμός με μικτή μόνωση (**MTS**)

Οι υποσταθμοί με μικτή μόνωση (Εικόνα 5) χρησιμοποιούν συνδυασμό διαφορετικών τύπων μονωτικών υλικών για την μόνωση του εξοπλισμού, όπως ο ατμοσφαιρικός αέρας (AIS) σε συνδυασμό με κάποιο αέριο π.χ. το εξαφθοριούχο θείο (SF_6), όπως στους GIS. Οι υποσταθμοί με μικτή μόνωση αποτελούν την ενδιάμεση επιλογή σε κόστος και χώρο μεταξύ των AIS και GIS. Συχνά χρησιμοποιούνται για την επέκταση υπάρχοντων υποσταθμών με μικρές απαιτήσεις νέου χώρου.



Εικόνα 5: Υποσταθμός με μικτή μόνωση (MTS)

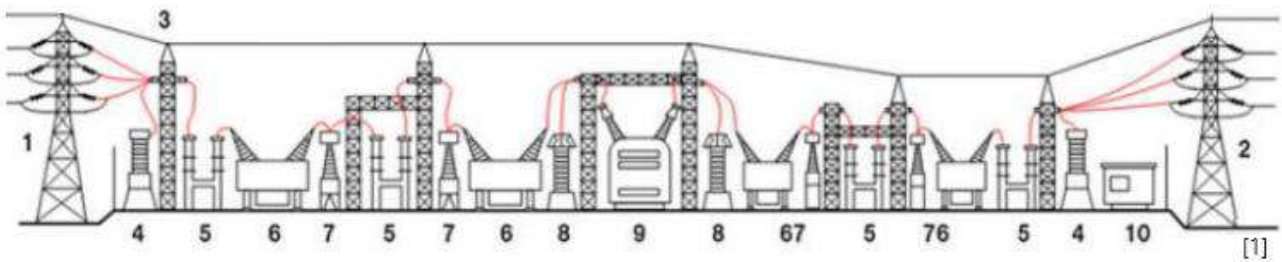
1.3 Στοιχεία εξοπλισμού Υποσταθμών Υψηλής Τάσης

Στην ενότητα αυτήν θα γίνει αναφορά στα βασικότερα στοιχεία εξοπλισμού των υποσταθμών Υψηλής Τάσης (Εικόνα 6) καθώς και στη λειτουργία τους.

Τον εξοπλισμό ενός υποσταθμού αποτελούν διάφορα στοιχεία που εξυπηρετούν τη μετατροπή, τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Κάποια βασικά στοιχεία εξοπλισμού υποσταθμών είναι:

1. **Μετασχηματιστές Ισχύος:** Χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της τάσης από υψηλή σε χαμηλή ή αντίστροφα, προκειμένου να μεταφερθεί η ενέργεια από τον υποσταθμό στους καταναλωτές ή από τον υποσταθμό στο δίκτυο.
2. **Διακόπτες Ισχύος:** Χρησιμοποιούνται για τη διακοπή ή τη σύνδεση κυκλωμάτων στον υποσταθμό.
3. **Αποζεύκτες:** Χρησιμοποιούνται για την οπτική διακοπή της τροφοδοσίας κυκλωμάτων που χρειάζονται συντήρηση.
4. **Γειωτές:** Χρησιμοποιούνται για τη γείωση του συστήματος όταν βρίσκεται υπό συντήρηση.
5. **Ζυγοί:** Χρησιμοποιούνται για μεταφορά της ενέργειας και τη διασύνδεση εναέριων γραμμών, καλωδίων και, μετασχηματιστών ισχύος. Επίσης σε αυτούς συνδέεται εξοπλισμός για τη μέτρηση της ισχύος και της ενέργειας που διανέμεται από τον υποσταθμό.
6. **Εκτροπείς Υπέρτασης:** Χρησιμοποιούνται για τη προστασία του συστήματος από υπερτάσεις.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



Εικόνα 6: Τυπική διάταξη υποσταθμού AIS [1]

Μετασχηματιστές Ισχύος

Οι μετασχηματιστές ισχύος (Εικόνα 7) είναι ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της τάσης από ένα επίπεδο σε ένα άλλο. Είναι απαραίτητο στοιχείο στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επιτρέπουν την αποτελεσματική μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες. Επιπλέον, οι μετασχηματιστές επιτρέπουν την προσαρμογή της τάσης στις ανάγκες διαφόρων σημείων του δικτύου, όπως υποσταθμοί και βιομηχανικές μονάδες.



[8]

Εικόνα 7: Μετασχηματιστής ισχύος

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Διακόπτες Ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος χρησιμοποιούνται γενικά για τη διακοπή ροής του ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά και τη ενεργοποίηση της ροής αυτής. Δηλαδή, ενεργοποιούν και απενεργοποιούν κυκλώματα. Οι διακόπτες ισχύος αποτελούνται από διάφορα στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων:

1. Κύριες επαφές: Φέρουν το ρεύμα κατά τη στάσιμη κατάσταση λειτουργίας.
2. Επαφές τόξου: Διευκολύνουν τη σβέση του τόξου κατά τη διακοπή ενός ρεύματος.
3. Θάλαμος σβέσης τόξου.
4. Μηχανισμός λειτουργίας: Αναλαμβάνει να μετακινήσει τις επαφές.
5. Μονώσεις, περίβλημα, στοιχεία στήριξης κ.λπ.

Ο διακόπτης ισχύος πρέπει να μπορεί να διακόπτει τα εξής ρεύματα:

- Ρεύμα **σφάλματος**
- Ρεύμα **φορτίου**
- **Χωρητικό** ρεύμα
- **Επαγωγικό** ρεύμα

Οι διακόπτες είναι υπεύθυνοι για τη διακοπή ή την επανασύνδεση του ηλεκτρικού ρεύματος. Λόγω των μεταβατικών φαινομένων που παρατηρούνται -μηδενισμός μεγάλων τιμών ρεύματος σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα- δημιουργούνται υπερτάσεις και υπερρεύματα τα οποία προκαλούν καταπόνηση στον εξοπλισμό.

- Στους ΔΙ **υψηλής** τάσης το ηλεκτρικό τόξο είναι υψηλής πίεσης και αναπτύσσεται σε αέρα, έλαιο, SF₆ (Εικόνα 9 και Εικόνα 10)
- Στους ΔΙ **μέσης** τάσης χρησιμοποιείται συχνότερα κενό (Εικόνα 8) και το ηλεκτρικό τόξο είναι χαμηλής πίεσης.
- Σε όλες τις περιπτώσεις το τόξο που γεφυρώνει τις επαφές του ΔΙ κατά το άνοιγμά τους ψύχεται και σβήνει. Στο **DC** ρεύμα είναι εξαιρετικά δύσκολη η **ψύξη** του τόξου διότι **δεν** υπάρχουν **μηδενισμοί** του ρεύματος. Εκεί απαιτούνται κατάλληλες τεχνικές.



Εικόνα 8: ΔΙ κενού



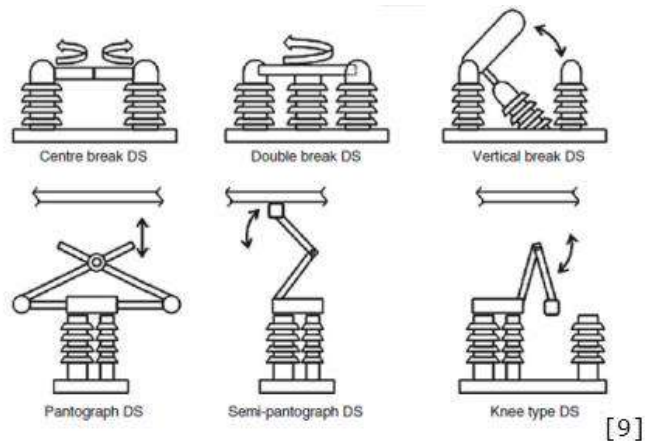
Εικόνα 9: ΔΙ SF₆



Εικόνα 10: ΔΙ ελαίου

Αποζεύκτες

Οι αποζεύκτες συνδέονται σε σειρά με τους διακόπτες ισχύος και προσφέρουν επιπρόσθετη προστασία και φυσική απόζευξη. Τοποθετούνται εκατέρωθεν του διακόπτη ισχύος και διακόπτουν μικρά χωρητικά ή επαγωγικά ρεύματα. Ακόμα προσφέρουν ασφάλεια κατά τις διαδικασίες της συντήρησης και ελέγχου του εξοπλισμού, καθώς οι επαφές τους είναι ορατές από το προσωπικό. Διάφορες κατηγορίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Διάφορα είδη αποζευκτών

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Γειωτές

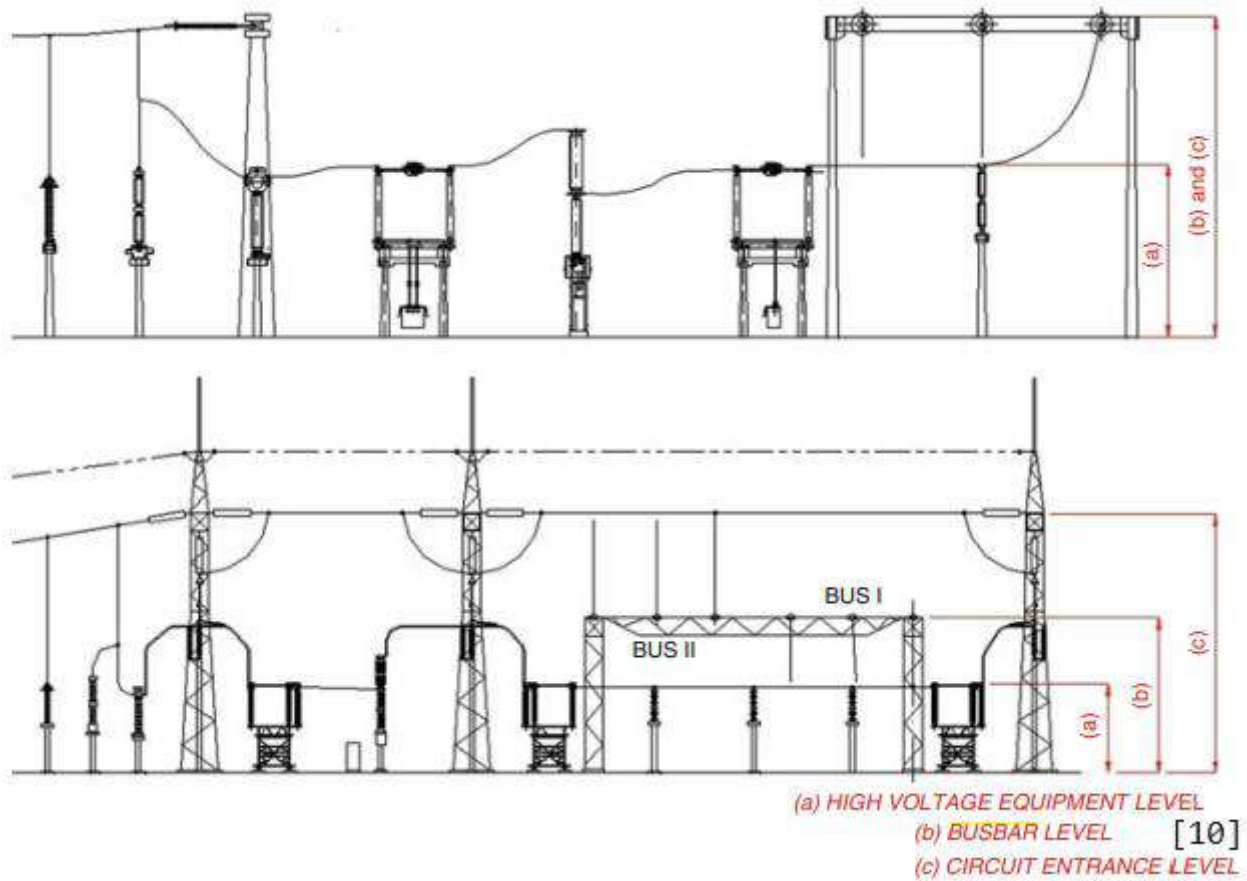
Οι γειωτές (Εικόνα 12) συνδέονται με τη γη (σύστημα γείωσης) και στην κανονική τους λειτουργία είναι ανοιχτοί, ενώ κλείνουν κατά τις εργασίες συντήρησης για την ασφάλεια του προσωπικού.



Εικόνα 12: Διακόπτης Ισχύος, Αποζεύκτες και Γειωτές

Ζυγοί

Οι ζυγοί (Εικόνες 13 και 14) είναι μεταλλικές ράβδοι ή ταινίες που χρησιμοποιούνται για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από τις εισερχόμενες γραμμές στα διάφορα κυκλώματα. Οι ζυγοί παίζουν σημαντικό ρόλο στη διασύνδεση των διαφόρων εξοπλισμών ενός υποσταθμού, όπως οι μετασχηματιστές, οι διακόπτες ισχύος και οι προστατευτικές και μετρητικές διατάξεις.



Εικόνα 13: Αναχωρήσεις των γραμμών σε υποσταθμό (ζυγοί)



Εικόνα 14: Ζυγοί σε υποσταθμό (ταινία)

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

1.4 Προστασία στοιχείων εξοπλισμού έναντι υπερτάσεων

Στην ενότητα παρουσιάζεται ο τρόπος που επιτυγχάνεται η προστασία του εξοπλισμού υποσταθμών υψηλής τάσης από τις υπερτάσεις.

Εκτροπείς Υπέρτασης (Surge Arresters, SA)

Οι εκτροπείς υπέρτασης ορίζονται σύμφωνα με το **IEC 60099** ως: Συσκευή για την προστασία εξοπλισμού έναντι μεταβατικών τάσεων και τον περιορισμό της διάρκειας και του εύρους του ρεύματος (follow-current) που ρέει διαμέσου του εκτροπέα λόγω της συνδεδεμένης πηγής ισχύος. Το ρεύμα αυτό (follow-current) ακολουθεί το ρεύμα του μεταβατικού φαινομένου που διαρρέει τον εκτροπέα (discharge current).

Οι SA περιορίζουν τις υπερτάσεις σε ένα προδιαγεγραμμένο επίπεδο προστασίας (protective level), το οποίο προφανώς είναι χαμηλότερο από την αντοχή του στοιχείου εξοπλισμού που πρέπει να προστατευθεί.

Ιδανικός SA:

- Δεν άγει υπό την τάση λειτουργίας του συστήματος
- Άγει όταν $V > a \cdot V_{rated}$ (όταν εμφανιστεί η υπέρταση) διατηρώντας την τάση αυτή σταθερή στα άκρα του (επίπεδο προστασίας)
- Παύει να άγει μόλις $V \approx V_{rated}$.

Οι εκτροπείς υπερτάσεων συνήθως εγκαθίστανται **δίπλα** σε όλους τους μετασχηματιστές ισχύος, στις εισερχόμενες γραμμές υποσταθμών AIS για να προστατεύσουν τα στοιχεία του εξοπλισμού από τα οδεύοντα **κύματα** πάνω στη γραμμή που μπορεί να δημιουργηθούν είτε από κεραυνικές **υπερτάσεις** είτε από **διακοπτικές** λειτουργίας. Επίσης τοποθετούνται σε πηνία υψηλής τάσης, καλώδια ισχύος, ζυγούς κ.ά.

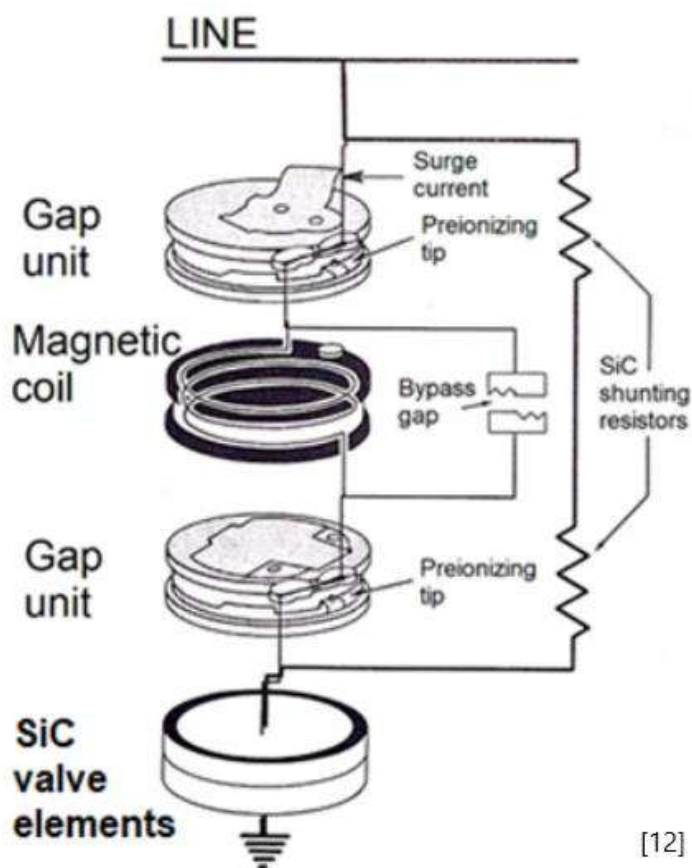
Διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες με βάση την κατασκευή τους:

1. Εκτροπείς καρβιδίου του πυριτίου (SiC)
2. Εκτροπείς οξειδίου μετάλλου (ZnO)

Εκτροπείς καρβιδίου του πυριτίου (SiC)

Οι εκτροπείς υπέρτασης με ενεργά διάκενα SiC (Εικόνα 15) αναφέρονται σε συσκευές προστασίας από υπερτάσεις που χρησιμοποιούν μη-γραμμικές αντιστάσεις SiC σε συνδυασμό με κατάλληλες διατάξεις για τη σβέση του ηλεκτρικού τόξου στο διάκενο. Αυτού του είδους εκτροπείς προσφέρουν μικρότερο επίπεδο προστασίας και μεγαλύτερα απορρόφηση ενέργειας σε σχέση με τους παλαιότερους εκτροπείς υπέρτασης τύπου valve-type.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



Εικόνα 15: Εκτροπέας υπέρτασης SiC με διάκενα

Εκτροπείς οξειδίου μετάλλου (ZnO)

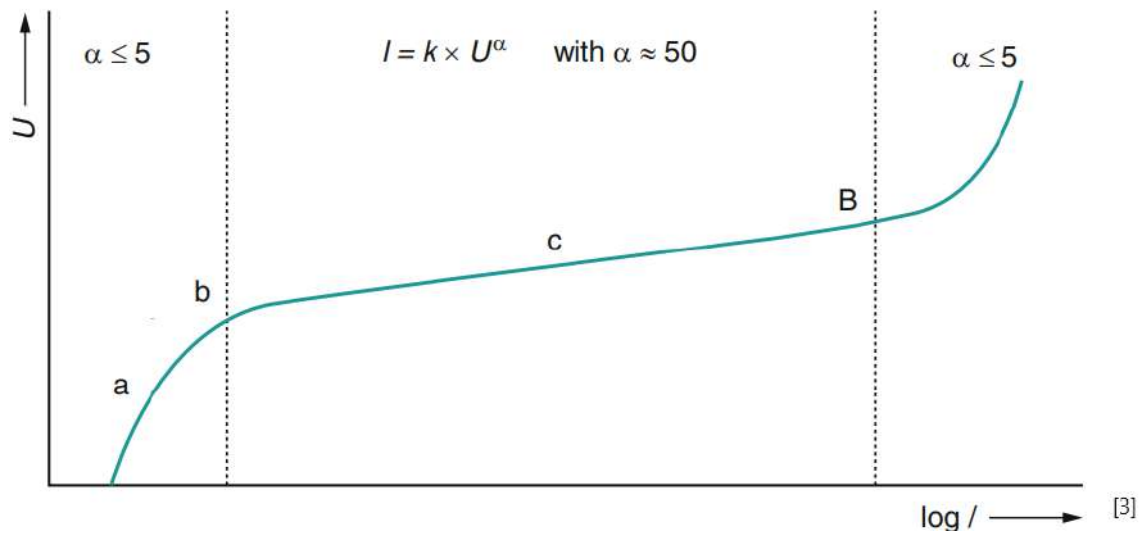
Οι εκτροπείς οξειδίου μετάλλου (Εικόνα 16) αποτελούνται από μη-γραμμικές αντιστάσεις, γνωστά ως varistors, τα οποία αποτελούνται από συμπιεσμένους και συντρεπημένους κόκκους οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO) σε συνδυασμό με μικρές ποσότητες προσμείξεων (για τη βελτίωση της μη-γραμμικότητας της χαρακτηριστικής). Με την προσθήκη πολλαπλών δίσκων:

- σε **σειρά**: αύξηση ονομαστικής τάσης
- εν **παραλλήλω**: αύξηση του ονομαστικού ρεύματος, άρα και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας

Οι εκτροπείς τύπου οξειδίου μετάλλου έχουν επικρατήσει σήμερα, είναι αξιόπιστοι, αποτελεσματικοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι στα ηλεκτρικά δίκτυα για την προστασία από υπερτάσεις. Κατασκευάζονται με και χωρίς διάκενα.

Σημειώνεται ότι οι εκτροπείς υπέρτασης πρέπει να εγκαθίστανται κατά το δυνατόν κοντά στον εξοπλισμό που πρέπει να προστατευτεί γιατί στην παραμένουσα τάση του εκτροπέα πρέπει να προστεθεί και η πτώση τάσης επάνω στους αγωγούς σύνδεσης για να εκτιμηθεί η υπερτάση που καταπονεί τον εξοπλισμό. Τυπικές συνδέσεις φαίνονται στις Εικόνες 17 και 18.

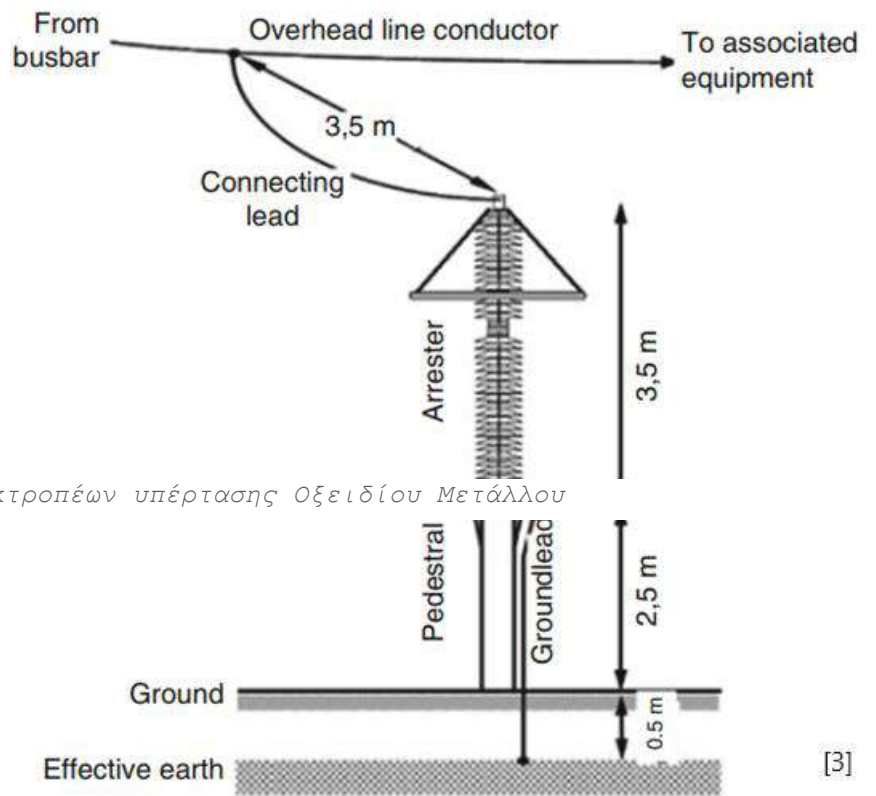
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



Εικόνα 16: Μη γραμμική συμπεριφορά (καμπύλη c) των εκτροπέων υπέρτασης Οξειδίου Μετάλλου [13].



Εικόνα 16: Χαρακτηριστική εκτροπέων υπέρτασης Οξειδίου Μετάλλου



Εικόνα 17: Τυπική διάταξη εναέριας γραμμής μεταφοράς και εκτροπέα υπέρτασης

Εικόνα 18: Εκτροπέες υπέρτασης σε μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

1.5 Στόχος της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην εκτίμηση των υπερτάσεων που προκύπτουν σε έναν υποσταθμό υψηλής τάσης 400 kV GIS λόγω κεραυνικών πληγμάτων στις διασυνδεδεμένες γραμμές μεταφοράς. Αυτές οι υπερτάσεις ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά την αξιοπιστία του ηλεκτρικού εξοπλισμού. Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας του υποσταθμού τη στιγμή του κεραυνικού πλήγματος μέσω προσομοιώσεων με το λογισμικό ATP-EMTP. Θα προσομοιωθούν, δηλαδή, διαφορετικές τοπολογίες του ίδιου υποσταθμού με στόχο την εύρεση και σύγκριση των υπερτάσεων.

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

Κεφάλαιο 2: Κεραυνικές υπερτάσεις σε υποσταθμούς υψηλής τάσης

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις υπερτάσεις που προκαλούνται από τα μεταβατικά φαινόμενα των κεραυνών, ο τρόπος προστασίας των υποσταθμών υψηλής τάσης από άμεσα κεραυνικά πλήγματα και η επίδραση τους στις εναέριες γραμμές μεταφοράς.

2.1 Αιτίες ανάπτυξης υπερτάσεων μικρής διάρκειας μετώπου

Σύμφωνα με το πρότυπο **IEC 60071-1**, που αφορά τον συντονισμό μονώσεων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, οι υπερτάσεις κατηγοριοποιούνται βάσει της διάρκειας και της συχνότητας σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

1. Προσωρινές (**TOV** - Temporary Overvoltages): Αυτές οι υπερτάσεις έχουν συχνότητα από 10 έως 500 Hz και διάρκεια από **0,02** έως **3600** δευτερόλεπτα.
2. Υπερτάσεις Μεγάλης Διάρκειας Μετώπου (**SFO** - Slow-front Overvoltages): Αυτές οι υπερτάσεις χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη διάρκεια μετώπου, με τιμές της τάσης που αλλάζουν σχετικά αργά. Η διάρκειά τους κυμαίνεται μεταξύ **20** μικροδευτερολέπτων έως **5** δευτερολέπτων.
3. Υπερτάσεις Μικρής Διάρκειας Μετώπου (**FFO** - Fast-front Overvoltages): Αυτές οι υπερτάσεις έχουν απότομη αύξηση της τάσης με διάρκεια μετώπου από **0,1** έως **20** μικροδευτερόλεπτα.
4. Υπερτάσεις Πολύ Μικρής Διάρκειας Μετώπου (**VFFO** - Very Fast Front Overvoltages): Αυτές οι υπερτάσεις χαρακτηρίζονται από πολύ απότομη αύξηση της τάσης προς τη μέγιστη τιμή, με διάρκεια μετώπου μικρότερη των **0,1** μικροδευτερολέπτων.

Τα αίτια ανάπτυξης υπερτάσεων μικρής διάρκειας μετώπου (**FFO**) που αφορούν την παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. **Πλήγματα κεραυνού:** Τα απευθείας ή έμμεσα πλήγματα κεραυνού μπορούν να προκαλέσουν υπερτάσεις FFO στα ηλεκτρικά δίκτυα λόγω της ραγδαίας αύξησης της τάσης που προκαλείται από το ρεύμα της κεραυνικής εκκένωσης.
2. **Διακοπτικοί χειρισμοί:** Οι ενεργοποιήσεις και απενεργοποιήσεις διακοπών, μετασχηματιστών και άλλων εξαρτημάτων του ηλεκτρικού συστήματος μπορούν να δημιουργήσουν υπερτάσεις FFO λόγω των μεταβατικών φαινομένων που συνοδεύουν αυτούς τους χειρισμούς.
3. **Σφάλματα:** Σφάλματα στο ηλεκτρικό σύστημα, όπως βραχυκυκλώματα, μπορεί επίσης να οδηγήσουν στην ανάπτυξη υπερτάσεων FFO λόγω της γρήγορης αύξησης της τάσης που προκαλείται από αυτά τα σφάλματα.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Σημειώνεται όμως ότι για τις μονώσεις του εξοπλισμού μόνο η κατηγορία 1 είναι επικίνδυνη (πλήγματα κεραυνού). Στην Εικόνα 19 παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες υπερτάσεων και φαίνονται τυπικές κυματομορφές τους.

Class	Low frequency		Transient		
	Continuous	Temporary	Slow-front	Fast-front	Very-fast-front
Voltage or over-voltage shapes					
Range of voltage or over-voltage shapes	$f = 50 \text{ Hz}$ or 60 Hz $T_1 \geq 3 \text{ 600s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_1 \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5 \text{ 000 } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_f \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Standard voltage shapes					a
Standard withstand voltage test	a	Short-duration power frequency test	Switching impulse test	Lightning impulse test	a [18]

Εικόνα 19: Διάρκεια μετώπου και ουράς FFO

2.2 Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας υποσταθμών υψηλής τάσης

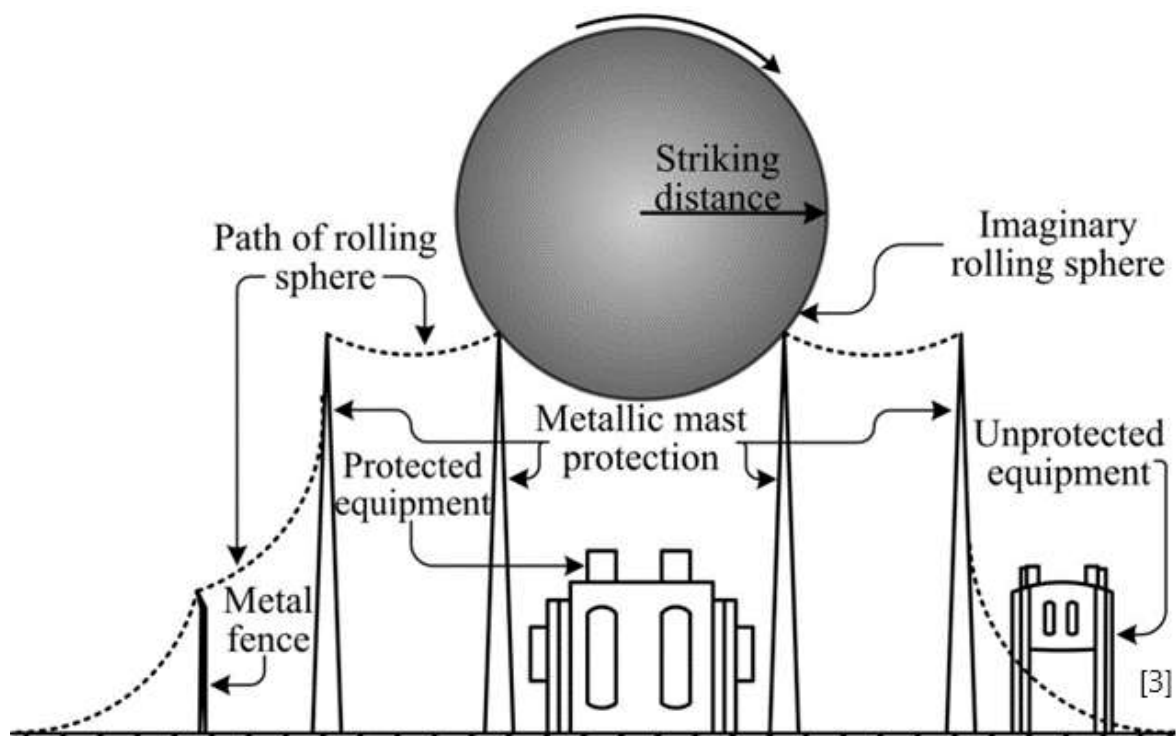
Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αναφέρεται στη χρήση μέτρων και εγκαταστάσεων που σχεδιάζονται για την προστασία υποσταθμών υψηλής τάσης από τις επιπτώσεις των κεραυνικών πληγμάτων.

Αυτό περιλαμβάνει το σύστημα γείωσης του υποσταθμού, το συλλεκτήριο σύστημα που αποτελείται από ακίδες, εναέριους αγωγούς γης και τους αγωγούς καθόδου. Είναι σημαντικό ότι το σύστημα γείωσης που σχεδιάζεται για την ασφάλεια του προσωπικού έναντι σφαλμάτων γης είναι επαρκές και για το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αρκεί να είναι σε κοντινή απόσταση σε όλα τα σημεία που πρέπει να γειωθούν.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Το ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της τοποθέτησης των αγωγών γης σε γραμμές μεταφοράς και υποσταθμούς με διαφορετικά ύψη αγωγών φάσης και γεωμετρίες. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ρυθμού μακροπρόθεσμων διακοπών λειτουργίας για υπάρχουσες γραμμές μεταφοράς και τους υποσταθμούς, αλλά και για εγκαταστάσεις που δεν έχουν κατασκευαστεί ακόμα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ολοκληρώματα είτε προσέγγιση Monte Carlo, δηλαδή με επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις.

Ένα ίσως απλούστερο μοντέλο είναι η μέθοδος της **κυλιόμενης σφαίρας** για τον καθορισμό της θέσης και του ύψους των ακίδων και των αγωγών γης που προστατεύουν τον υποσταθμό από άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Οι ακίδες συνήθως συνδέονται με το υπόγειο σύστημα γείωσης και μερικές φορές τοποθετούνται και εναέριοι αγωγοί ανάμεσα στις κορυφές τους. Αυτοί οι αγωγοί θωράκισης μπορεί να αποτελούν συνέχεια των αγωγών προστασίας των γραμμών μεταφοράς που εισέρχονται και εξέρχονται από τον υποσταθμό [14]. Τέλος, σημειώνεται ότι σήμερα υπάρχουν και πιο περίπλοκα μοντέλα σύλληψης του κεραυνού, αλλά αυτά απαιτούν προσομοιώσεις που διαρκούν πολύ.



Εικόνα 20: Το μοντέλο της κυλιόμενης σφαίρας. Στα δεξιά φαίνεται ο μετασχηματιστής ισχύος εκτός προστασίας βάσει του μοντέλου αυτού.

2.3 Μηχανισμοί ανάπτυξης κεραυνικών υπερτάσεων σε υποσταθμούς υψηλής τάσης

Το κεραυνικό ρεύμα προκαλεί υπερτάσεις μικρής διάρκειας μετώπου FFO (fast-front overvoltages) οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν ζημιές

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

στον εξοπλισμό, να προκαλέσουν διακοπές στη λειτουργία του δικτύου και γενικότερα να οδηγήσουν σε οικονομικές απώλειες. Η ακριβής εκτίμηση των αναπτυσσόμενων υπερτάσεων FFO κρίνεται αναγκαία για την εκτίμηση της συμπεριφοράς των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, τον συντονισμό των μονώσεων τους και την κατάλληλη επιλογή των αντίστοιχων μέσων προστασίας.

Μόνο τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα είναι ικανά να προκαλέσουν σφάλματα γης καθώς οι επαγόμενες υπερτάσεις που αναπτύσσονται λόγω έμμεσων κεραυνικών πληγμάτων δεν ξεπερνούν συνήθως το βασικό επίπεδο μόνωσης, BIL (Basic Insulation Level), των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό βέβαια δεν ισχύει στα επίπεδα τάσης και μόνωσης του συστήματος διανομής. Εκεί και τα έμμεσα πλήγματα με τις επαγόμενες τάσεις τους μπορούν να οδηγήσουν δε ηλεκτρική διάσπαση των μονώσεων.

Συγκεκριμένα για τους υποσταθμούς υψηλής τάσης, συνήθως το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας του υποσταθμού κατασκευάζεται με τρόπο που να προσφέρει τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια έναντι κεραυνικών πληγμάτων στους αγωγούς φάσης. Αυτό συμβαίνει διότι ένα πλήγμα στους αγωγούς φάσης εντός υποσταθμού θα ήταν καταστροφικό για τον εξοπλισμό. Όταν ο κεραυνός συλληφθεί από το σύστημα αντικεραυνικής του υποσταθμού οδηγείται μέσω του συστήματος γείωσης στο έδαφος. Τα δυναμικά που αναπτύσσονται είναι πολύ μικρά και σίγουρα όχι ικανά να οδηγήσουν σε διάσπαση της μόνωσης.

Επομένως κεραυνικές υπερτάσεις μπορούν να εισέλθουν σε έναν υποσταθμό υψηλής τάσης μέσω των εναέριων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα σε θωρακισμένες εναέρια γραμμές μεταφοράς μπορεί να καταλήξουν σε:

- κάποιον αγωγό φάσης
- αγωγό προστασίας ή στον πυλώνα

Σε αγωγό φάσης

Όταν το κεραυνικό πλήγμα συμβαίνει σε αγωγό φάσης (**σφάλμα θωράκισης**) τότε, το ρεύμα χωρίζεται σε δύο κατευθύνσεις αμφίρροπα του σημείου πλήγματος προκαλώντας οδεύοντα κύματα στον αγωγό που συνέβη το πλήγμα αλλά και επαγόμενα κύματα στους υπόλοιπους αγωγούς φάσεων και στον αγωγό προστασίας. Τα κύματα αυτά αποσβένονται σταδιακά με την απομάκρυνση από το σημείο του πλήγματος λόγω της ωμικό-επαγωγικής συμπεριφοράς της γραμμής και του φαινομένου κορώνας (ηλεκτρικές εκκενώσεις γύρω από τους αγωγούς). Ο γειωμένος πυλώνας χαρακτηρίζεται από μηδενικό δυναμικό και κατά συνέπεια οι υπερτάσεις εξαρτώνται από:

- το δυναμικό του αγωγού (AC τάση τη στιγμή του κεραυνού)
- το εύρος και την κυματομορφή του κεραυνικού ρεύματος
- τα ηλεκτρικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γραμμής

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- την τιμή της εναλλασσόμενης τάσης του αγωγού φάσης τη στιγμή του πλήγματος

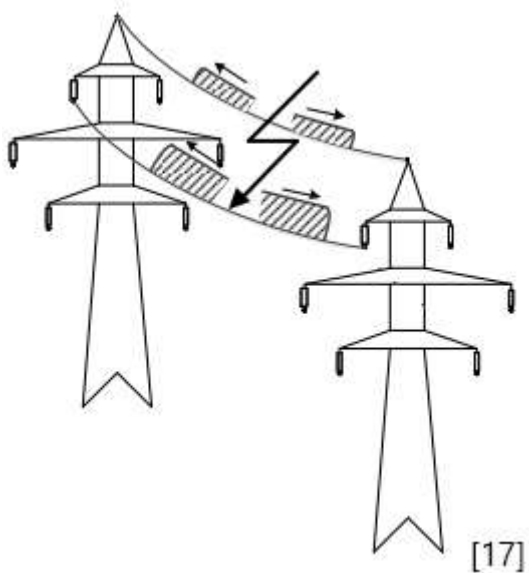
Αν η υπέρταση που καταπονεί τον μονωτήρα υπερβεί τη διηλεκτρική αντοχή του, τότε προκαλείται **διάσπαση** από τον αγωγό φάσης προς τον γειωμένο πυλώνα. Προκαλείται δηλαδή σφάλμα φάσης-γης στη γραμμή και συνήθως διακοπή λειτουργίας της γραμμής.

Σχετικά με τους υποσταθμούς, είτε γίνει διάσπαση της μόνωσης της εναέριας γραμμής μεταφοράς είτε όχι, η κεραυνική υπέρταση θα εισέλθει στους συνδεδεμένους υποσταθμούς και θα καταπονήσει τον εξοπλισμό.

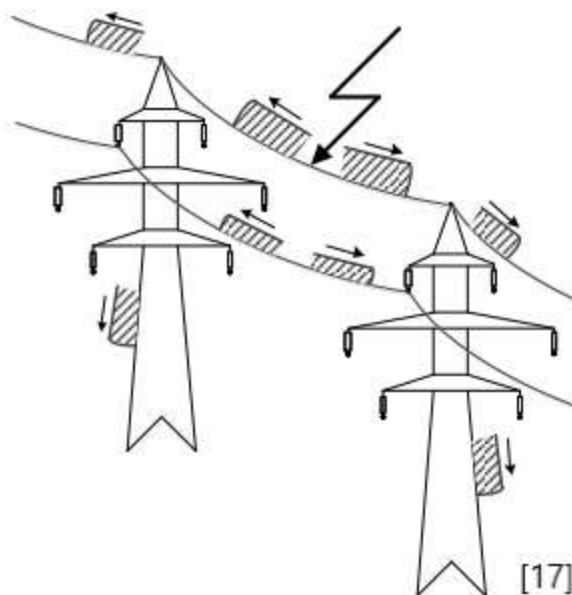
Σε αγωγό προστασίας

Σε περίπτωση κεραυνικού πλήγματος στον αγωγό προστασίας, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση το ρεύμα διαμοιράζεται στις δύο κατευθύνσεις εκατέρωθεν του σημείου πλήγματος, αλλά οδηγείται στη γη μέσω του κάθε γειωμένου πυλώνα. Στους αγωγούς φάσεων οδεύουν επαγόμενα κύματα τα οποία αποσβένουν με την απομάκρυνση από το σημείο πλήγματος. Το μεγαλύτερο ποσοστό του κεραυνικού ρεύματος καταλήγει μέσω των πλησιέστερων πυλώνων του σημείου πλήγματος, στη γη, με αποτέλεσμα οι μονωτήρες των πυλώνων αυτών να καταπονούνται περισσότερο. Η υπέρταση που καταπονεί τον μονωτήρα έχει να κάνει άμεσα με το δυναμικό του πυλώνα στο σημείο ανάρτησης και από το δυναμικό του αντίστοιχου αγωγού φάσης. Αν ξεπεραστεί το όριο της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης, τότε προκαλείται διάσπαση από τον πυλώνα προς τον αγωγό φάσης, η οποία ονομάζεται ανάστροφη διάσπαση (**backflashover**).

Για να εισέλθει μία κεραυνική υπέρταση (λόγω πλήγματος στον πυλώνα ή τον αγωγό προστασίας) πρέπει να συμβεί ανάστροφη διάσπαση της μόνωσης της γραμμής. Διαφορετικά η υπέρταση θα καταλήξει απλώς στη γείωση του υποσταθμού. Οι Εικόνες 21 και 22 παρουσιάζουν άμεσα κεραυνικά πλήγματα σε αγωγό φάσης και προστασίας εναέριας γραμμής μεταφοράς αντίστοιχα μαζί με εποπτική απεικόνιση κάποιων εκ των οδευόντων κυμάτων.



Εικόνα 22: Κεραυνικό πλήγμα σε αγωγό φάσης



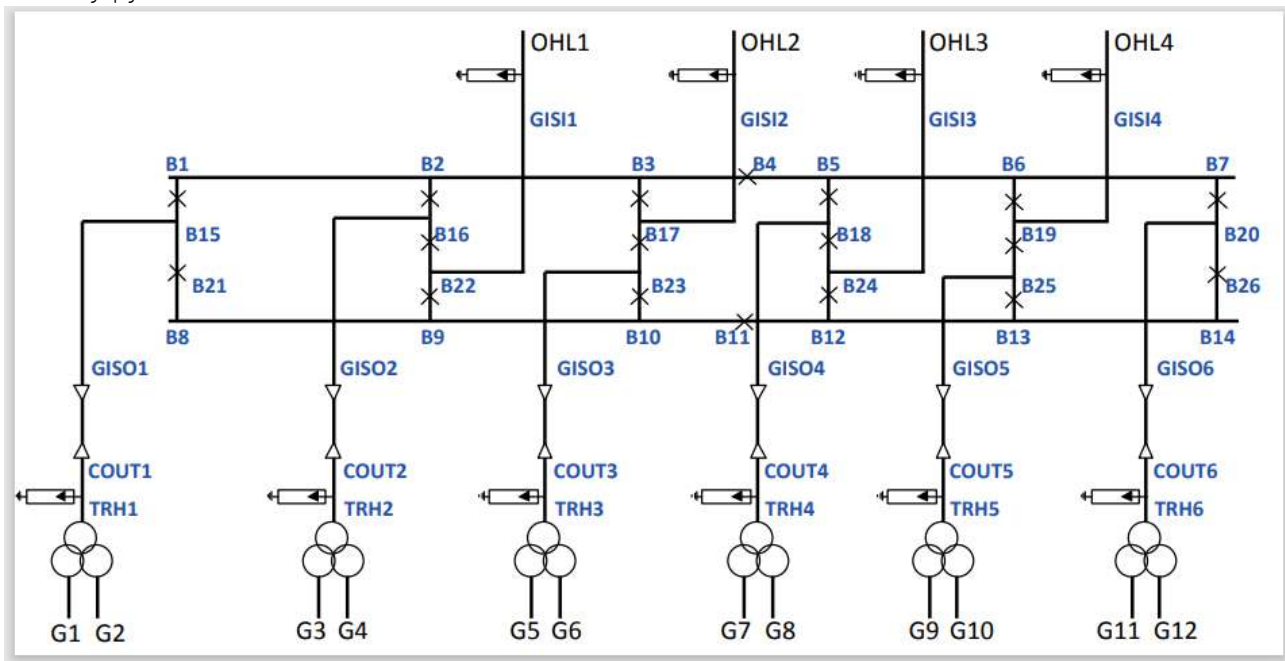
Εικόνα 21: Κεραυνικό πλήγμα σε αγωγό προστασίας

Κεφάλαιο 3: Υποσταθμός GIS 400 kV

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση της τοπολογίας του υποσταθμού 400 kV GIS που μελετήθηκε, τα γενικά του χαρακτηριστικά του, καθώς και η μοντελοποίηση και οι περιπτώσεις που διερευνηθούν μέσω της προσομοίωσης του μοντέλου.

3.1 Τοπολογία και γενικά χαρακτηριστικά

Το απλοποιημένο μονογραμμικό μοντέλο που απεικονίζει την συγκεκριμένη διάταξη του υποσταθμού GIS 400 kV που μελετήθηκε είναι το εξής:



Εικόνα 23: Διάταξη υποσταθμού που μελετήθηκε

Ο υποσταθμός πραγματοποιεί την ανύψωση τάσης ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με 12 γεννήτριες.

Η κεραυνική υπέρταση εισέρχεται πάντα από κάποια γραμμή μεταφοράς στον υποσταθμό. Οι τέσσερις εισερχόμενες γραμμές μεταφοράς είναι μονού κυκλώματος ονομαστικής τάσης 400 kV και αποτελούνται από τρεις φάσεις και δύο αγωγούς προστασίας. Στην αρχή του υποσταθμού υπάρχουν εκτροπείς υπέρτασης, οι οποίοι είναι γειωμένοι με το σύστημα γείωσης του υποσταθμού. Στην συνέχεια ξεκινά ο υποσταθμός GIS ο οποίος περιλαμβάνει τους ζυγούς και τον διακοπτικό εξοπλισμό (διακόπτες ισχύος και αποζεύκτες). Από την έξοδο του GIS οδεύει σύστημα μονοπολικών καλωδίων ισχύος το οποίο καταλήγει στον τριφασικό μετασχηματιστή τριών τυλιγμάτων όπου συνδέονται οι δύο γεννήτριες. Το καλώδιο και ο μετασχηματιστής προστατεύονται από εκτροπείς υπέρτασης στο άκρο του μετασχηματιστή.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

3.2 Μοντελοποίηση

Για τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω μοντέλα:

- Οι εναέριες γραμμές μεταφοράς αναπαραστάθηκαν από μια ακολουθία μοντέλων JMarti [19], εξαρτώμενων από τη συχνότητα, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία και το άνοιγμα μεταξύ των πυλώνων. Οι παράμετροι των γραμμών υπολογίστηκαν για την ειδική αντίσταση του εδάφους στην περιοχή της εγκατάστασης.
- Το τμήμα των προσομοιωμένων γραμμών περιλάμβανε αρκετά ανοίγματα μεταξύ των πυλώνων καθώς και το τελευταίο άνοιγμα προς τον υποσταθμό. Οι γραμμές τερματίστηκαν κατάλληλα με μεγάλου μήκους τμήματα γραμμής για να περιοριστούν τα κύματα ανάκλασης που στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν.
- Οι πυλώνες μοντελοποιήθηκαν ως κατακόρυφες, μονοφασικές, ανεξάρτητες της συχνότητας, διανεμημένων παραμέτρων γραμμές μεταφοράς. Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων κεραυνού υπολογίστηκε ίση με 85% της ταχύτητας του φωτός [20], και η κρουστική αντίσταση του πυλώνα υπολογίστηκε σύμφωνα με τις αναφορές [20], [21], προσεγγίζοντας τους πυλώνες ως κυλίνδρους.
- Οι πύλες είσοδοι στον υποσταθμό μοντελοποιήθηκαν ως κατακόρυφες, μονοφασικές, ανεξάρτητες της συχνότητας, διανεμημένων παραμέτρων γραμμές μεταφοράς. Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων κεραυνού υπολογίστηκε ίση με 85% της ταχύτητας του φωτός [20], και η κρουστική αντίσταση των πυλών υπολογίστηκε σύμφωνα με την αναφορά [21].
- Υιοθετώντας μια συντηρητική προσέγγιση, οι πυλώνες τερματίστηκαν από την αντίσταση γείωση [22], [23], καθώς αποτελεί άνω όριο της κρουστικής αντίστασης για σωστά σχεδιασμένα συστήματα γείωσης.
- Η ηλεκτρική διάσπαση των μονωτήρων προσομοιώθηκε με την χρήση του κυκλώματος LDM-94 [24], [25], με τη βοήθεια του οποίου η διάσπαση μόνωσης γραμμής μπορεί να αναπαρασταθεί με βάση αρκετά μοντέλα ανάπτυξης του λήντερ που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα προεκκένωσης, που ρέει στο διάκενο κατά τη φάση ανάπτυξης του λήντερ. Σε αυτήν τη μελέτη, το μοντέλο ανάπτυξης λήντερ του Weck, το οποίο υιοθετήθηκε από τη CIGRE [26], χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις με παραμέτρους για αρνητική διάσπαση της μόνωσης των γραμμών.
- Τα μονοπολικά καλώδια ισχύος αναπαραστάθηκαν με το μοντέλο Bergeron [27], [28], με παραμέτρους που υπολογίστηκαν στα 50 kHz με χρήση των ρουτινών υποστήριξης Cable Constants ή Cable Parameters του ATP-EMTP (ανάλογα την περίπτωση). Σημειώνεται

ότι η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά των καλωδίων, καθώς και η γεωμετρία εγκατάστασής τους ελήφθησαν υπόψη.

- Οι εκτροπείς υπέρτασης καθώς και οι περιοριστές τάσης μανδύα των καλωδίων αναπαραστάθηκαν με το μοντέλο εξαρτώμενο από τη συχνότητα Pinceti και Giannettoni [29], [30], με παραμέτρους που υπολογίστηκαν βάσει των χαρακτηριστικών του κάθε εκτροπέα υπέρτασης.
- Οι ζυγοί GIS προσομοιώθηκαν ως γραμμές χωρίς απώλειες με κυματική αντίσταση 75Ω [31].
- Οι ζυγοί AIS, οι αγωγοί και τα καλώδια μήκους μεγαλύτερα από 3 μέτρα μοντελοποιήθηκαν ως απώλειες γραμμών με κυματική αντίσταση 400Ω , ενώ για μήκη μικρότερα των 3 μέτρων χρησιμοποιήθηκαν συγκεντρωμένες αυτεπαγωγές $1 \mu\text{H/m}$ [31].
- Οι αυτομετασχηματιστές και οι μετασχηματιστές μοντελοποιήθηκαν από ένα κύκλωμα π-χωρητικοτήτων μαζί με ένα μοντέλο BCTRAN. Αυτός ο συνδυασμός έχει καλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με ένα κύκλωμα π-χωρητικοτήτων από μόνο του [32].
- Ο κεραυνός αναπαραστάθηκε από μια πηγή ρεύματος παράλληλα με μια αντίσταση 400Ω (για ανάστροφη διάσπαση, backflashover) ή 1000Ω (για σφάλμα θωράκισης, shielding failure) που αντιπροσωπεύει την αντίσταση του καναλιού οχετού επιστροφής του κεραυνού [33]. Για κυματομορφές τύπου CIGRE [26], χρησιμοποιήθηκε μια πηγή ρεύματος CIGRE τύπου 15 στο ATP-EMTP, που παράγει ένα ρεύμα με μέτωπο κοίλο προς τα επάνω.
- Στις περιπτώσεις ανάστροφης διάσπασης χρησιμοποιήθηκε ρεύμα 200 kA . Το μέγιστο ρεύμα σφάλματος θωράκισης χρησιμοποιήθηκε για κεραυνικό χτύπημα σε αγωγούς φάσης και υπολογίστηκε βάσει του ηλεκτρογεωμετρικού μοντέλου που προτάθηκε στο IEEE Std 1243 [34].

3.3 Περιπτώσεις προσομοίωσης

Στην ενότητα αυτήν παρουσιάζονται οι διαφορετικές περιπτώσεις προσομοίωσης για την συγκεκριμένη εργασία.

Σημειώνεται ότι μελετήθηκε ένας υποσταθμός υψηλής τάσης, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.1:

- 400 kV - GIS: με 4 γραμμές μεταφοράς μονού κυκλώματος με οριζόντια διάταξη φάσεων. Οι περιπτώσεις σχετικά με τις εισερχόμενες υπερτάσεις στον ΥΣ είναι:
 1. Ανάστροφη διάσπαση (BF) (πιο πιθανό στη φάση A) - μέγιστο θετικό AC στη φάση A - προτελευταίος πυλώνας - Αντίσταση γείωσης πυλώνων, $R_g=15 \Omega$ (όλοι οι πυλώνες)

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

2. Σφάλμα θωράκισης (SF) στη φάση A – μέγιστο αρνητικό AC στη φάση A – τελευταίος πυλώνας – Τιμή κορυφής μέγιστου ρεύματος 10.3 kA (μέγιστη που προκύπτει από το ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο).

Για τα (1) BF και (2) SF των εισερχόμενων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται στον υποσταθμό, οι συνολικές περιπτώσεις τοπολογιών (που έχουν νόημα) είναι οι εξής:

1. Συνδυασμοί με 1 ΓΜ και 1 ή 2 ή 3 ή 4 γεννήτριες.
2. Συνδυασμοί με 2 ΓΜ και 1 έως 8 γεννήτριες
3. Συνδυασμοί με 3 ΓΜ και 1 έως 10 γεννήτριες
4. Συνδυασμοί με 4 ΓΜ και 1 έως 12 γεννήτριες
5. Εισερχόμενη ΓΜ έως τους CBs.

Δηλαδή, ανάλογα με την τοπολογία τη στιγμή του κεραυνικού πλήγματος, θα διαφέρουν οι διαθέσιμες διαδρομές για το κεραυνικό ρεύμα με συνέπεια να αναπτυχθούν διαφορετικές υπερτάσεις στον υποσταθμό. Οι τοπολογίες που είναι εφικτές αλλά και πιθανές σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας εξαρτώνται προφανώς από τη θέση των διακοπών ισχύος που φαίνονται με X στην Εικόνα 23. Διαφορετικοί συνδυασμοί διακοπών οδηγούν σε διαφορετική τοπολογία. Σημειώνεται ότι οι τοπολογίες επιλέγονται για λειτουργικούς λόγους του συστήματος.

Από τις παραπάνω περιπτώσεις αυτές που θα προσομοιωθούν στα πλαίσια της εργασίας αυτής για τα (1) BF και (2) SF των εισερχόμενων εναέριων γραμμών μεταφοράς στον υποσταθμό είναι:

1. Συνδυασμοί με 1 ΓΜ και 1 ή 2 γεννήτριες (για όλες τις ΓΜ και όλες τις γεννήτριες).
2. OHL1 (Εικόνα 23) με 3 ή 4 γεννήτριες (μόνο για την OHL1 και για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς γεννητριών). Για την περίπτωση των 3 γεννητριών η 4η γεννήτρια που βγαίνει εκτός είναι πάντα η πιο δεξιά (αυτό επιλέγεται αυθαίρετα για να μειώσει τον αριθμό των περιπτώσεων).
3. Εισερχόμενη ΓΜ έως τους CBs (για όλες τις ΓΜ, 4 περιπτώσεις). Αυτό σε περίπτωση που ο CB είναι ανοικτός και η ΓΜ μη συνδεδεμένη με τον ΥΣ.
4. OHL1 και OHL3 με 8 γεννήτριες (G1, G2, G3, G4, G7, G8, G11, G12 μέσω του κάτω ζυγού, πλήγμα κεραυνού στην κάθε ΓΜ)
5. OHL1 και OHL3 με 8 γεννήτριες (G1, G2, G5, G6, G9, G10, G11, G12 μέσω του κάτω ζυγού, πλήγμα κεραυνού στην κάθε ΓΜ)
6. OHL1, OHL2 και OHL3 με 10 γεννήτριες (G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G11, G12 μέσω του κάτω ζυγού, πλήγμα κεραυνού στην κάθε ΓΜ)
7. 4 ΓΜ με όλες τις γεννήτριες (4 περιπτώσεις προσομοίωσης, κεραυνικό πλήγμα σε κάθε ΓΜ).

Για τις περιπτώσεις αυτές καταγράφονται οι κυματομορφές των υπερτάσεων σε διάφορα σημεία του ΥΣ και συγκρίνονται με το βασικό επίπεδο μόνωσης στο επόμενο κεφάλαιο.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα προσομοιώσεων και συζήτηση

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις και σχολιάζονται οι κυματομορφές των αναπτυσσόμενων υπερτάσεων και τα ραβδογράμματα που κατασκευάστηκαν με τις μέγιστες τιμές τους. Στο τέλος γίνεται σύγκριση και συζήτηση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα επικεντρώθηκαν στους συνδυασμούς μίας γραμμής μεταφοράς με μία ή δύο γεννήτριες, αν και έγιναν προσομοιώσεις και για τις άλλες περιπτώσεις της Ενότητας 3.3, για να διατηρηθεί ο όγκος της εργασίας σε διαχειρίσιμα επίπεδα.

4.1 Κεραυνικό πλήγμα στον πυλώνα

Η ανάστροφη διάσπαση (Back Flashover) είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να συμβεί σε ένα σύστημα ηλεκτρικής μεταφοράς όταν ένας κεραυνός πλήττει τον πυλώνα ή έναν αγωγό προστασίας. Το κεραυνικό ρεύμα αυξάνει το δυναμικό του γειωμένου πυλώνα και όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ του πυλώνα και των αγωγών φάσεων γίνει αρκετά μεγάλη, μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρική διάσπαση και στη συνέχεια συνήθως ηλεκτρικό τόξο από τον πυλώνα προς τους αγωγούς φάσης. Αυτό οδηγεί σε υπερτάσεις που οδεύουν στους αγωγούς φάσης με τη μορφή κυμάτων, οι οποίες ενδέχεται να φτάσουν στον υποσταθμό και να προκαλέσουν βλάβες στον εξοπλισμό, αν ξεπεραστεί το επίπεδο μόνωσης.

Αντίθετα, εάν η ανάστροφη διάσπαση δεν συμβεί, το κεραυνικό ρεύμα εκτονώνεται μέσω του πυλώνα και των αγωγών προστασίας προς τη γη μέσω των γειώσεων των πυλώνων και του ΥΣ στο τέρμα της γραμμής, χωρίς να επηρεάζει τους αγωγούς φάσης. Σε αυτή την περίπτωση, ο υποσταθμός παραμένει προστατευμένος, καθώς δεν υπάρχει ροή κεραυνικού ρεύματος προς αυτόν μέσω των γραμμών μεταφοράς.

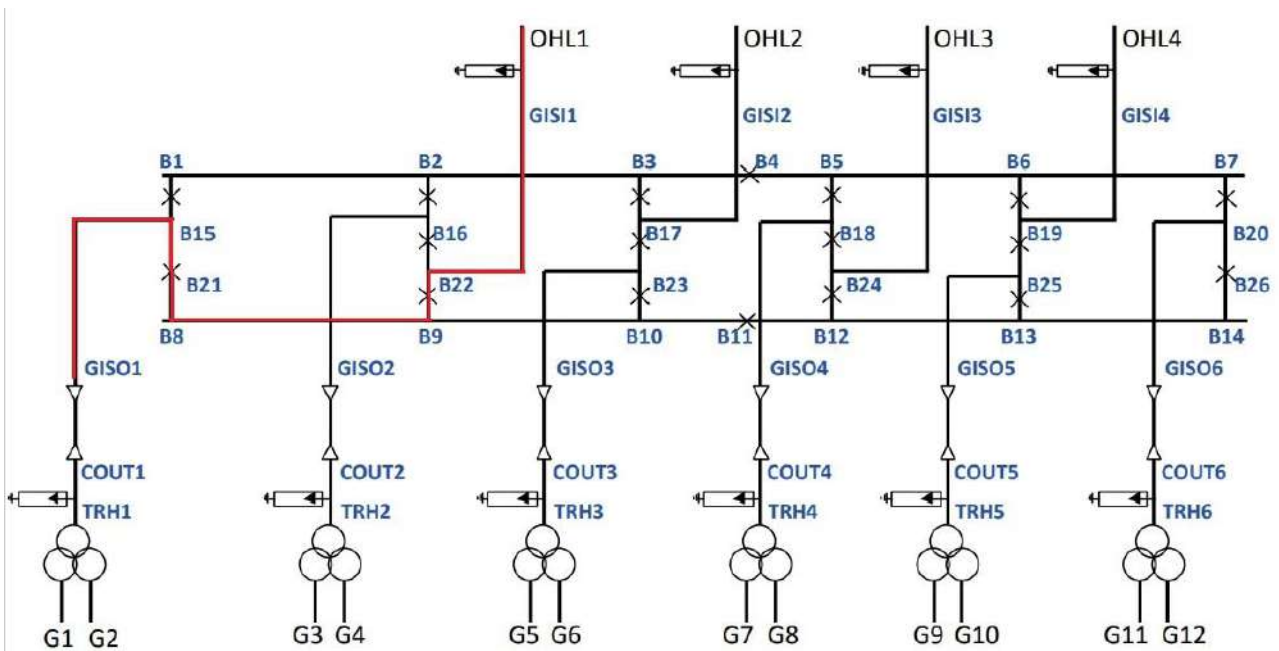
Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων πληγμάτων κεραυνού στις γραμμές μεταφοράς 400 kV που συνδέονται με τον υπό μελέτη υποσταθμό 400 kV GIS.

4.1.1 Μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με μία γεννήτρια

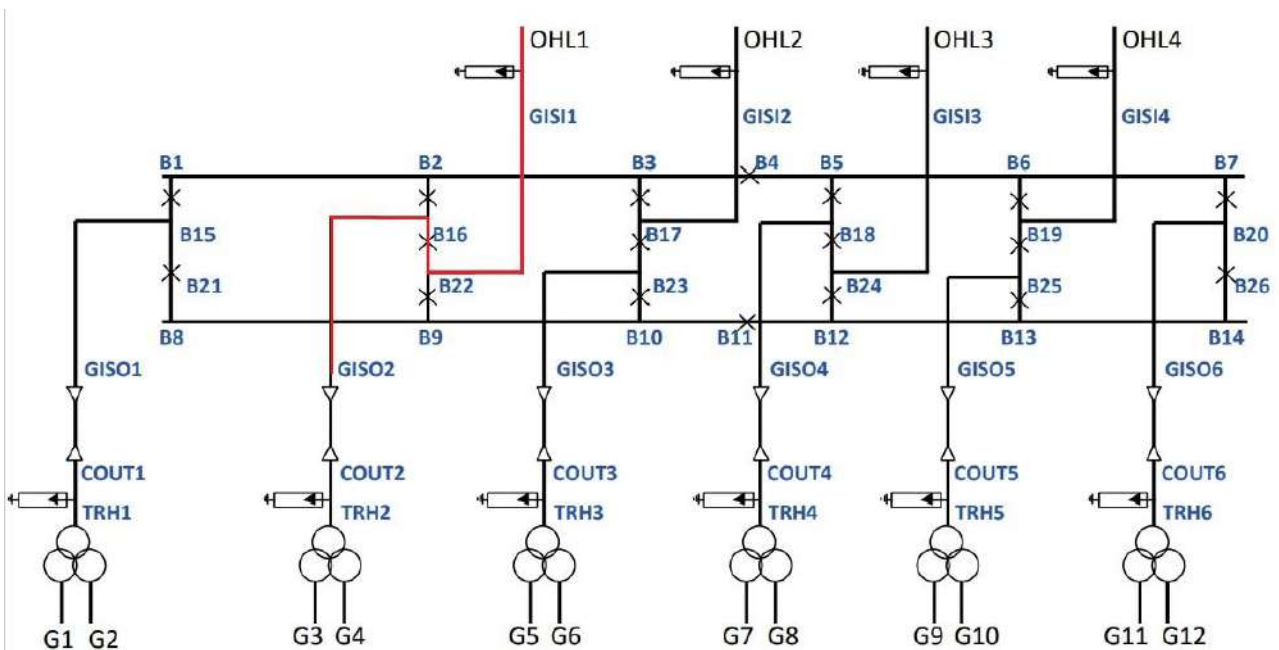
Στην ενότητα αυτήν θα παρουσιαστούν οι κυματομορφές υπερτάσεων και τα ραβδογράμματα με τις τιμές κορυφής τους για μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με μία γεννήτρια.

Αρχικά παρακάτω παρατίθενται τα απλοποιημένα μονογραμμικά τα οποία αποτυπώνουν τη «διαδρομή» από τη γραμμή μεταφοράς μέχρι το κάθε ζεύγος γεννητριών με την χρήση μόνο του κάτω ζυγού, η οποία επιλέχθηκε προς περιορισμό των υπό μελέτη περιπτώσεων σε διαχειρίσιμα επίπεδα. Έτσι, με βάση την Εικόνα 23, δημιουργήθηκαν οι Εικόνες 24–28 στις οποίες με κόκκινη γραμμή παρουσιάζονται οι διαδρομές που θα μελετηθούν. Η επιλογή των τοπολογιών έγινε βάσει της θέσης των διακοπών ισχύος στον ΥΣ.

- **OHL1 συνδεδεμένη με 1 γεννήτρια**

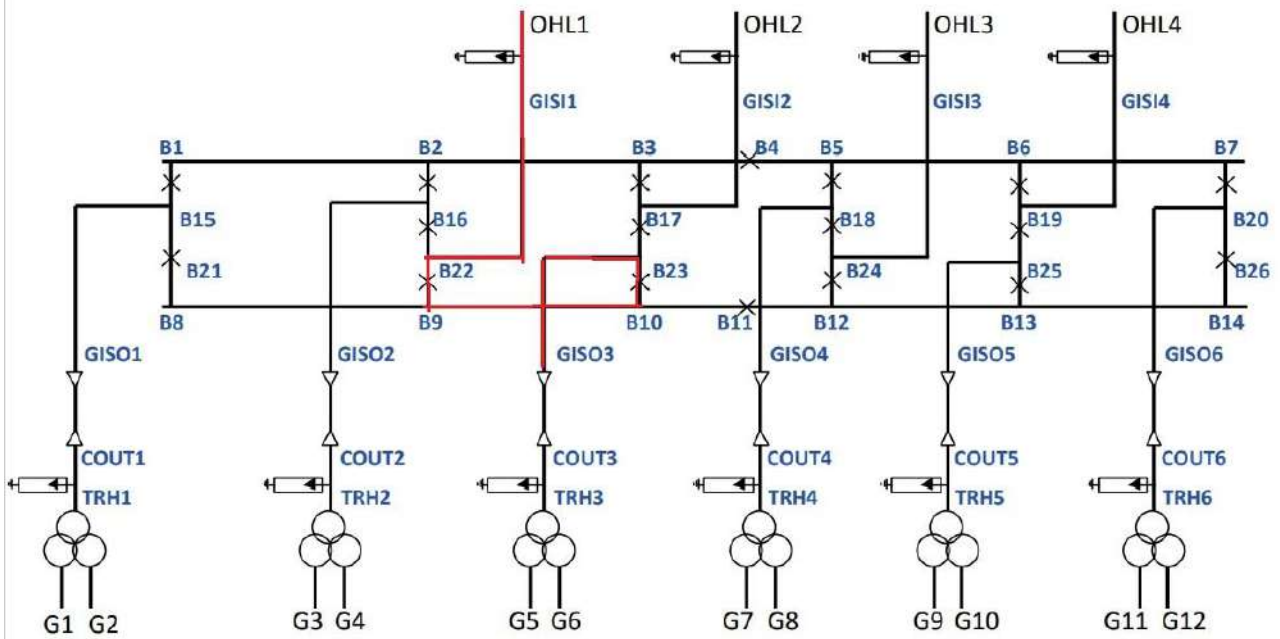


Εικόνα 24: OHL1 συνδεδεμένη με G1/G2

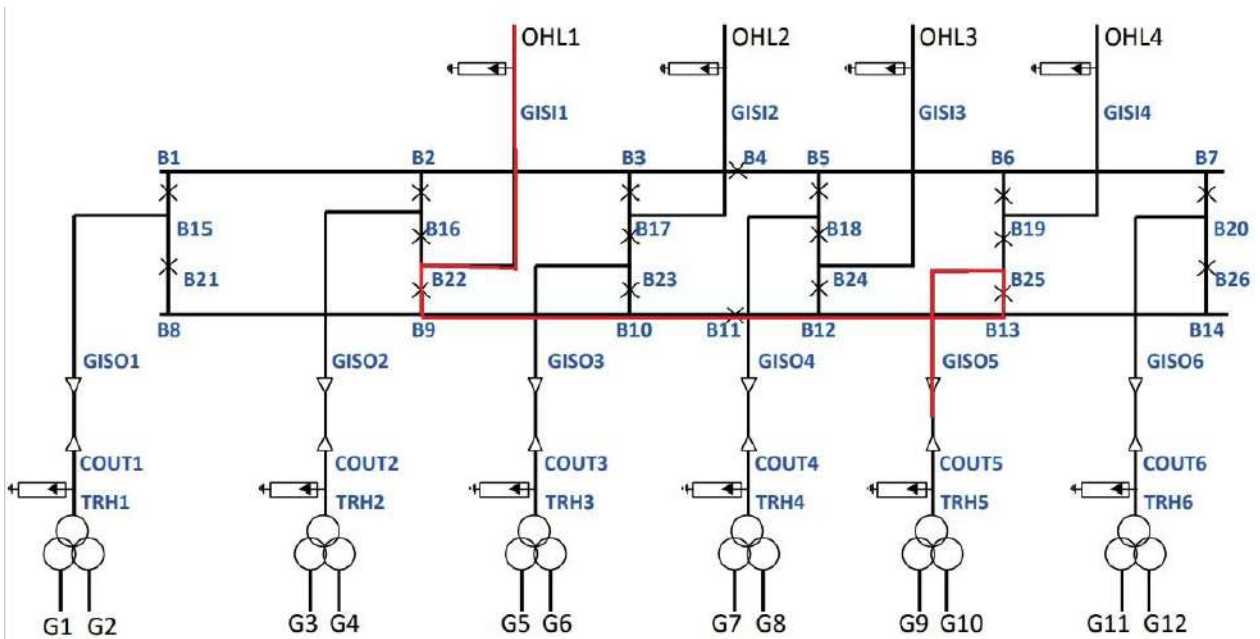


Εικόνα 25: OHL1 συνδεδεμένη με G3/G4

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

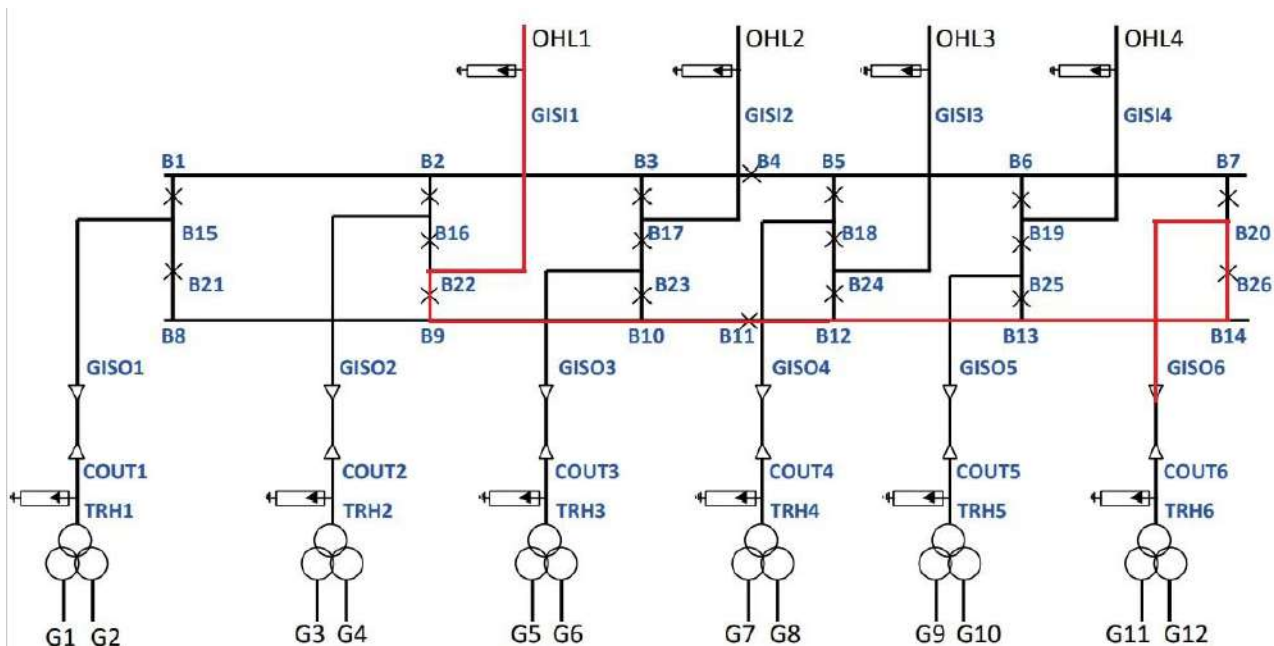


Εικόνα 26: OHL1 συνδεδεμένη με G5/G6



Εικόνα 27: OHL1 συνδεδεμένη με G9/10

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



Εικόνα 28: OHL1 συνδεδεμένη με G11/G12

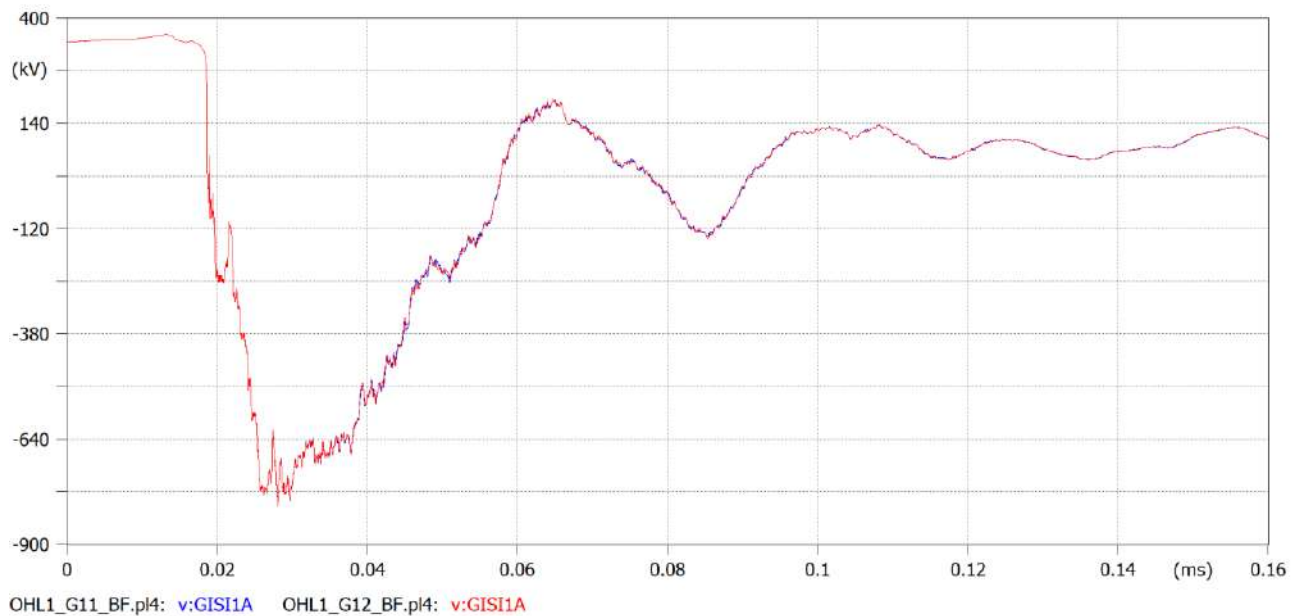
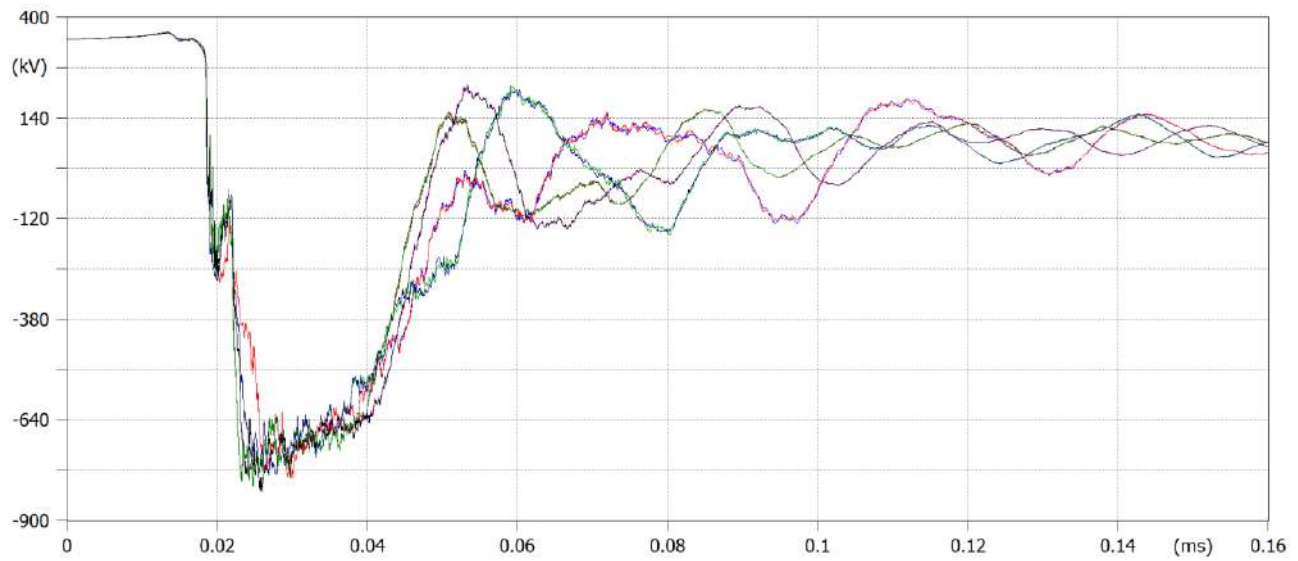
Παρακάτω φαίνονται οι κυματομορφές για τον κόμβο GISI1 (είσοδος του ΥΣ GIS όπου συνδέεται η OHL1) για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις σύνδεσης μίας γραμμής μεταφοράς, της OHL1, με μία γεννήτρια (G1, G2, G3, G4, G5, G6, G9, G10, G11, G12). Πρέπει να σημειωθεί ότι ο γραφικός μετα-επεξεργαστής του ATP-EMTP που ονομάζεται PlotXY μπορεί να απεικονίσει έως 8 κυματομορφές ταυτόχρονα και γι' αυτό οι κυματομορφές που αφορούν τις δύο τελευταίες γεννήτριες G11 και G12 παρουσιάζονται σε ξεχωριστό γράφημα.

Είναι εμφανές ότι στο κρίσιμο για τη μόνωση αρχικό τμήμα τους (έως $\sim 0,05$ ms) οι περισσότερες είναι γενικά παρόμοιες. Η υπέρταση, ως οδεύον κύμα, αρχικά φθάνει σχεδόν στον ίδιο χρόνο στην είσοδο του ΥΣ, καθώς η διάσπαση της μόνωσης της ΓΜ γίνεται σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και η απόσταση του πυλώνα όπου γίνεται η διάσπαση από την είσοδο του GIS είναι σταθερή. Οι τιμές κορυφής των υπερτάσεων δεν διαφέρουν ιδιαίτερα. Η ακριβής τιμή τους εξαρτάται από την επίδραση των ανακλάσεων των οδευόντων κυμάτων στα διάφορα σημεία ασυνέχειας. Οι αποστάσεις των σημείων αυτών διαφέρουν με τη διαφορά της τοπολογίας. Ωστόσο, η επίδραση των διαφορών αυτών δεν είναι σημαντική από πλευράς συντονισμού μονώσεων, όσον αφορά την τιμή κορυφής της υπέρτασης. Το ίδιο ισχύει και για την επίδραση στην ουρά, μετά τα $\sim 0,05$ ms.

Σχετικά με τη γενική μορφή των υπερτάσεων, η απότομη αύξηση καθορίζεται από την άφιξη του μετώπου του κύματος και η μέγιστη τιμή περιορίζεται από τη λειτουργία των εκτροπέων υπέρτασης σε συνδυασμό με τις ανακλάσεις από τα σημεία ασυνέχειας.

Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και όταν ληφθούν υπόψη οι άλλες γραμμές μεταφοράς με τις αντίστοιχες γεννήτριες. Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

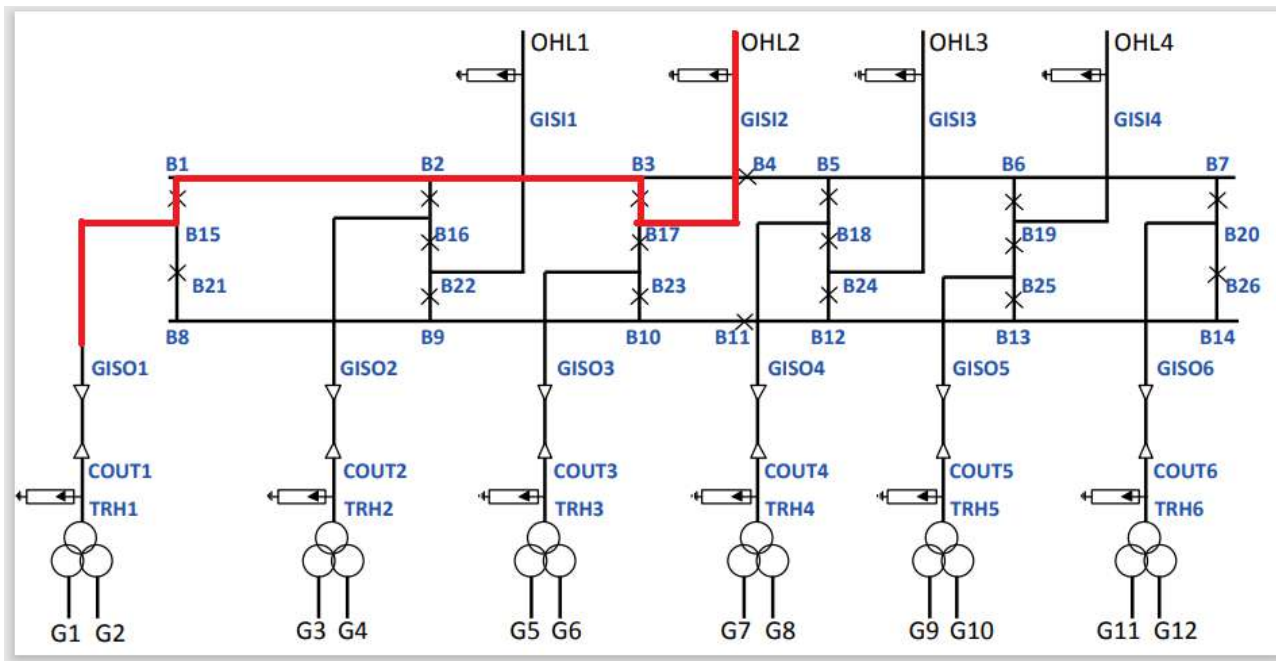
Παρακάτω φαίνονται οι κυματομορφές για τον κόμβο GIS11



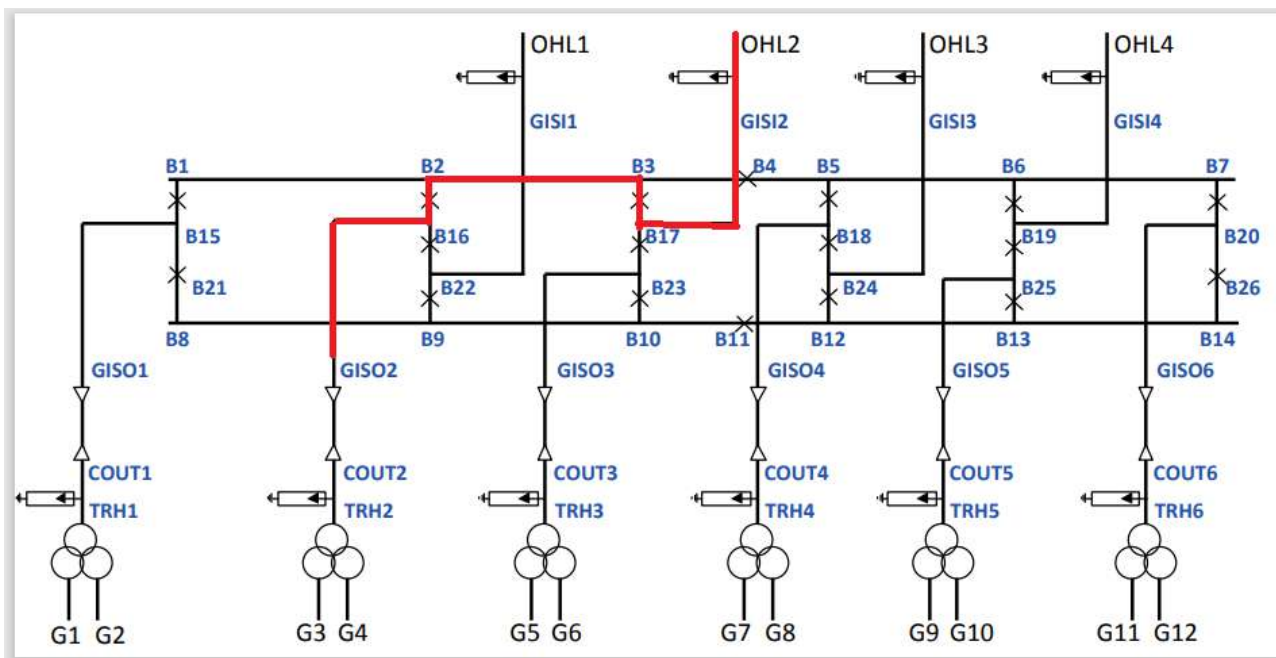
Εικόνα 29: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του ΥΣ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια.

- **OHL2 συνδεδεμένη με 1 γεννήτρια**

Παρακάτω παρατίθενται τα απλοποιημένα μονογραμμικά τα οποία αποτυπώνουν τη «διαδρομή» από τη 2η γραμμή μεταφοράς (OHL2) μέχρι το κάθε ζεύγος γεννητριών με την χρήση μόνο του επάνω ζυγού (Εικόνες 30-34).

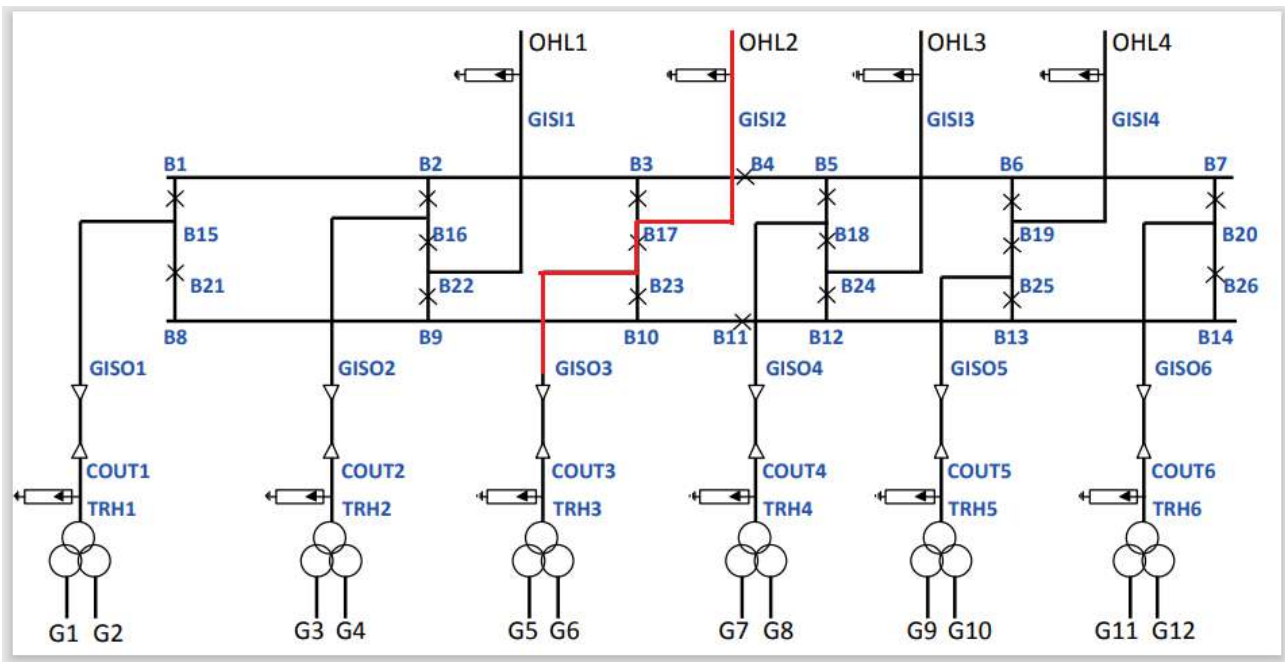


Εικόνα 30: OHL2 συνδεδεμένη με G1/G2

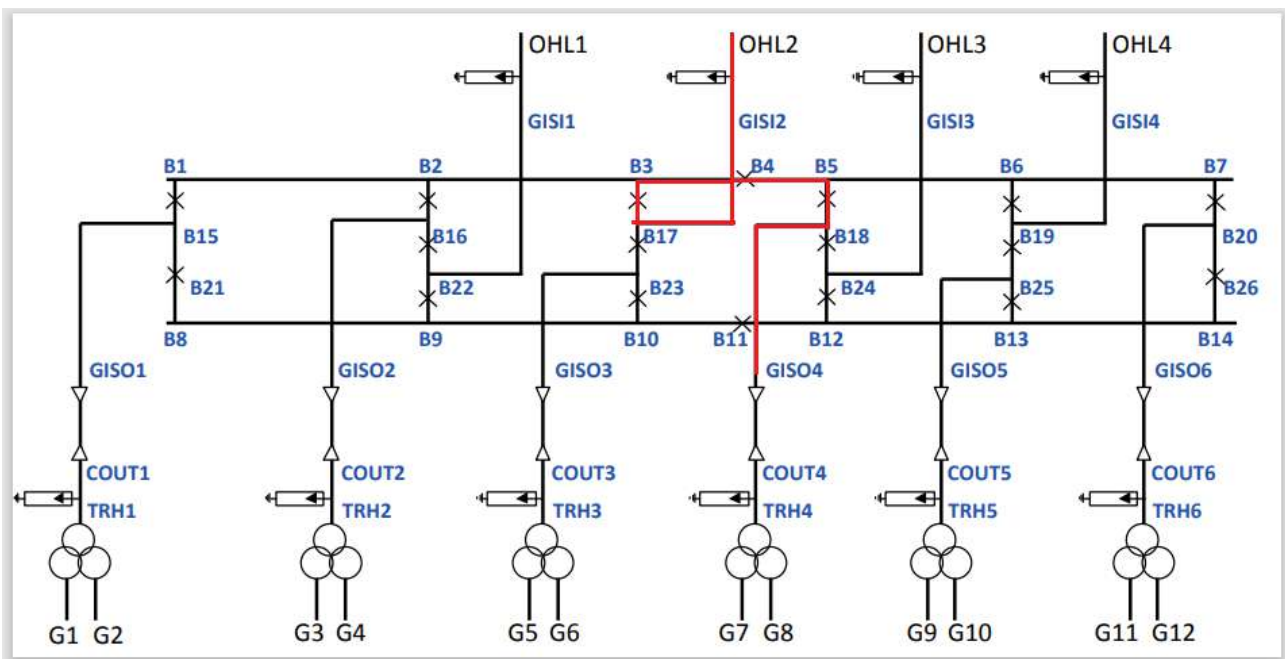


Εικόνα 31: OHL2 συνδεδεμένη με G3/G4

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

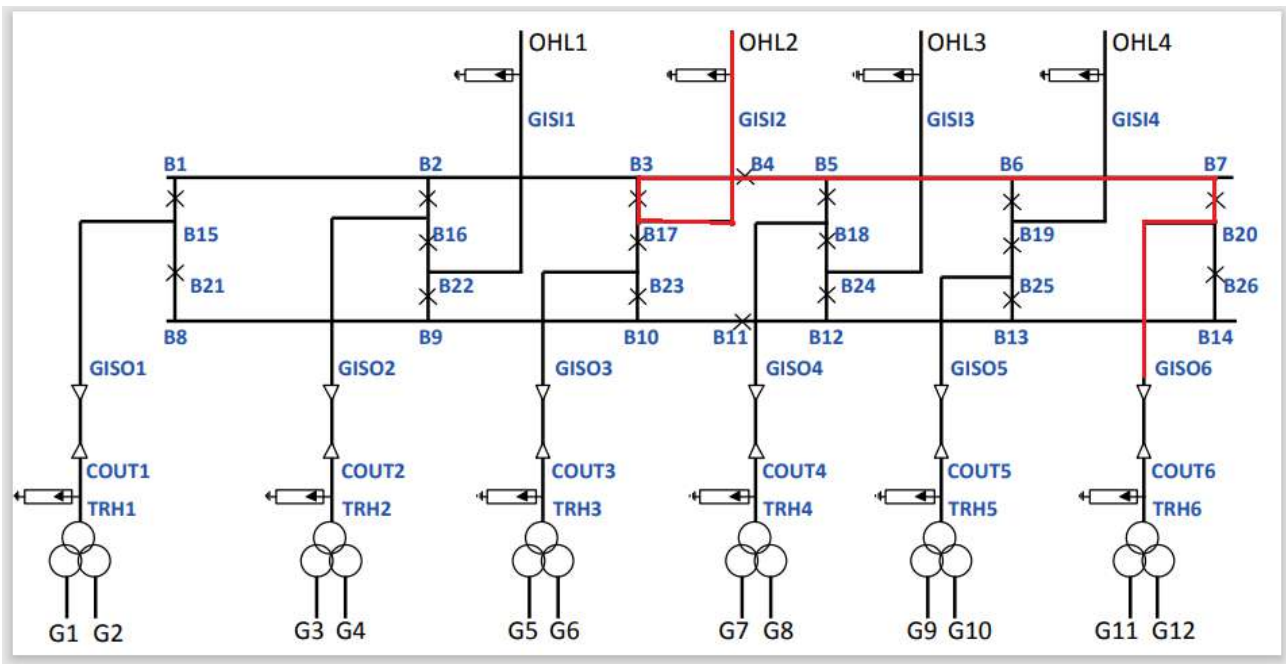


Εικόνα 32: OHL2 συνδεδεμένη με G5/G6



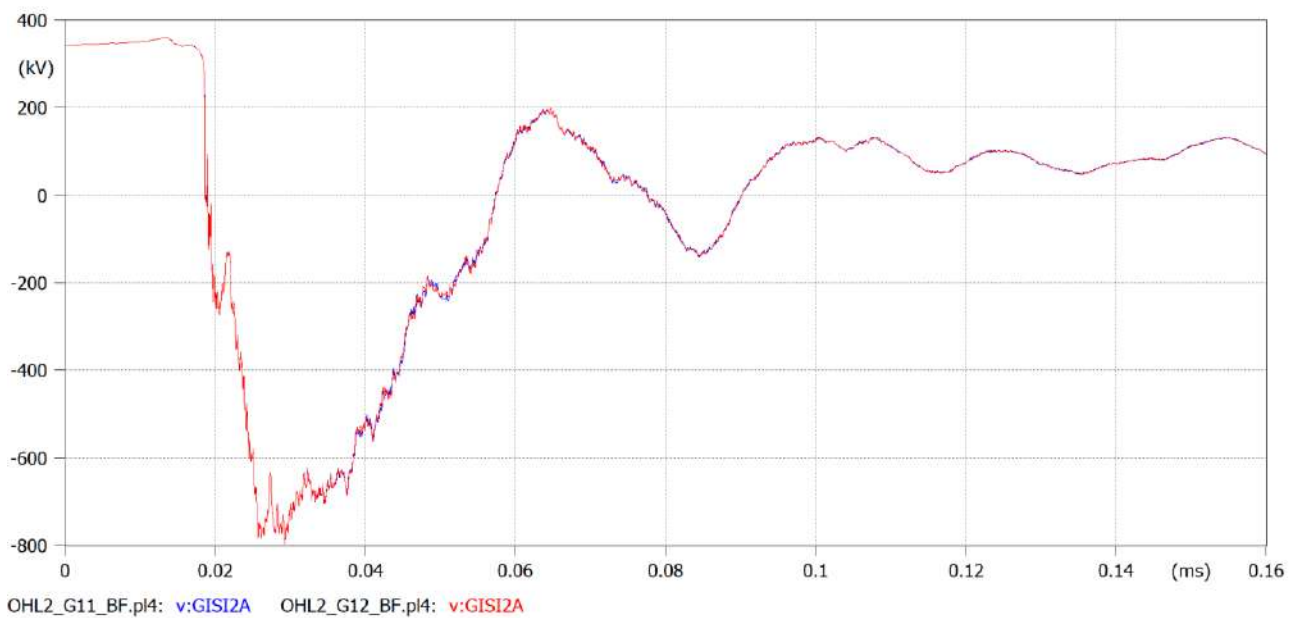
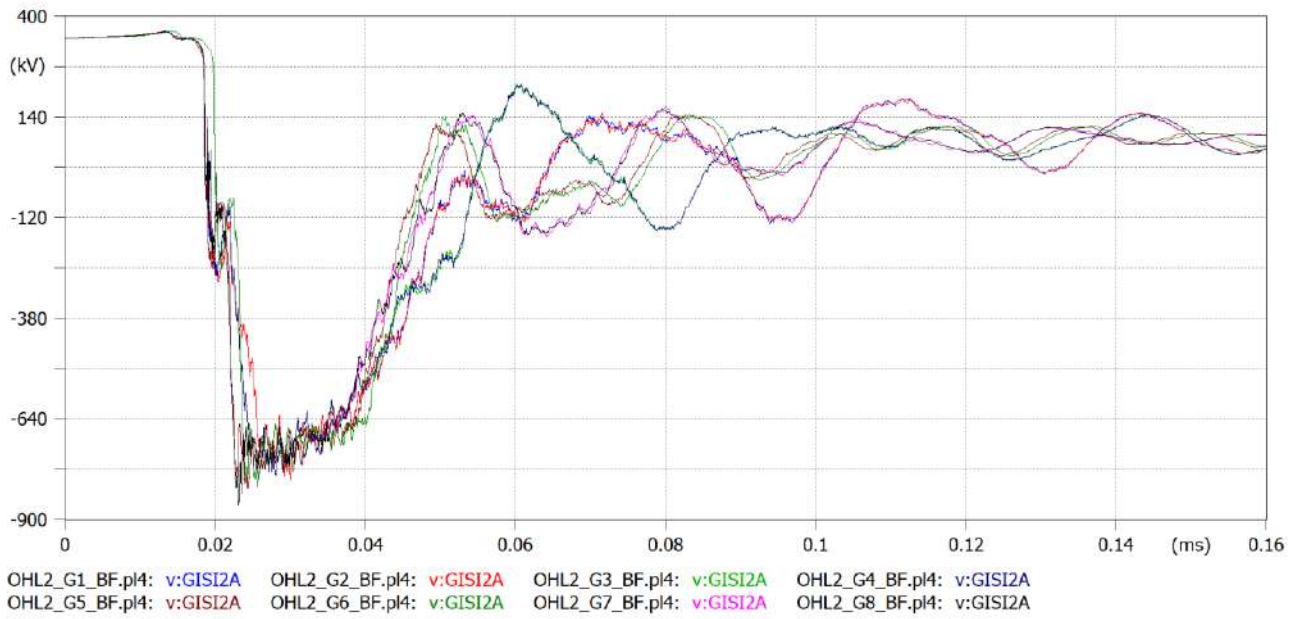
Εικόνα 33: OHL2 συνδεδεμένη με G7/G8

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



Εικόνα 34: OHL2 συνδεδεμένη με G11/G12

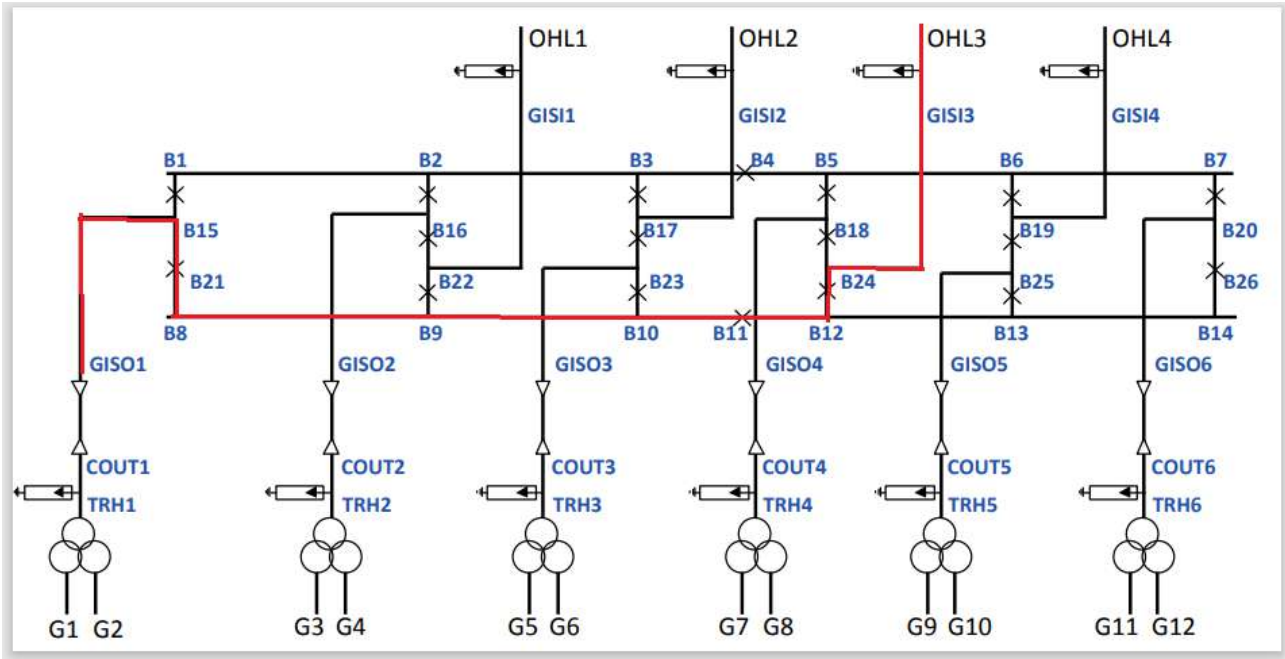
Στην Εικόνα 35 απεικονίζονται οι αντίστοιχες κυματομορφές υπερτάσεων για την είσοδο του ΥΣ. Είναι εμφανές ότι τα συμπεράσματα που προέκυψαν για την γραμμή OHL1 ισχύουν και για τη γραμμή OHL2.



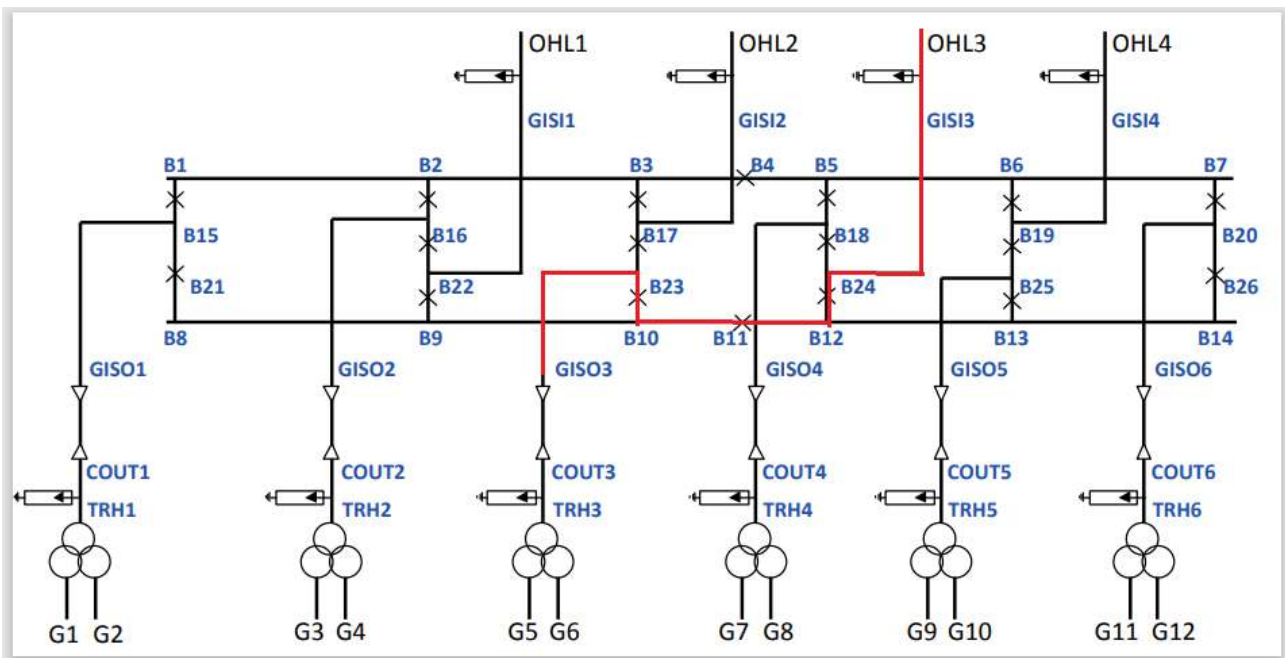
Εικόνα 35: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του ΥΣ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια.

- OHL3 συνδεδεμένη με 1 γεννήτρια

Παρακάτω παρατίθενται τα απλοποιημένα μονογραμμικά τα οποία αποτυπώνουν την «διαδρομή» από την γραμμή μεταφοράς OHL3 μέχρι το κάθε ζεύγος γεννητριών με την χρήση μόνο του κάτω ζυγού (Εικόνες 36-40).

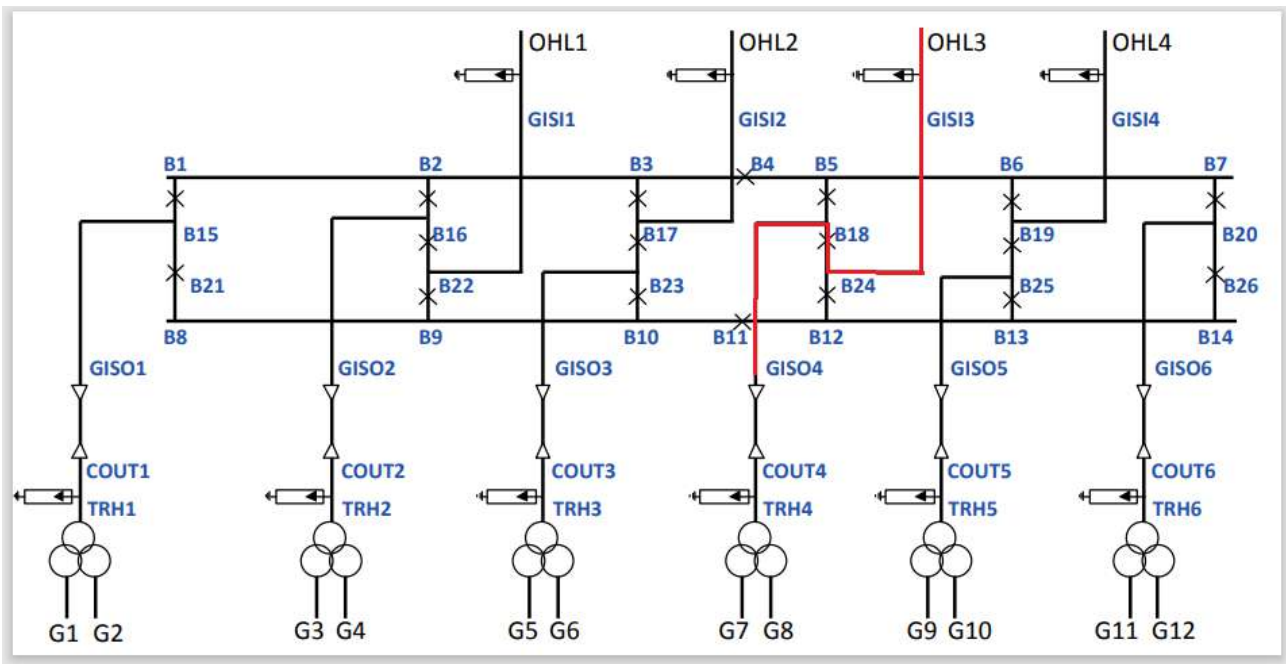


Εικόνα 36: OHL3 συνδεδεμένη με G1/G2

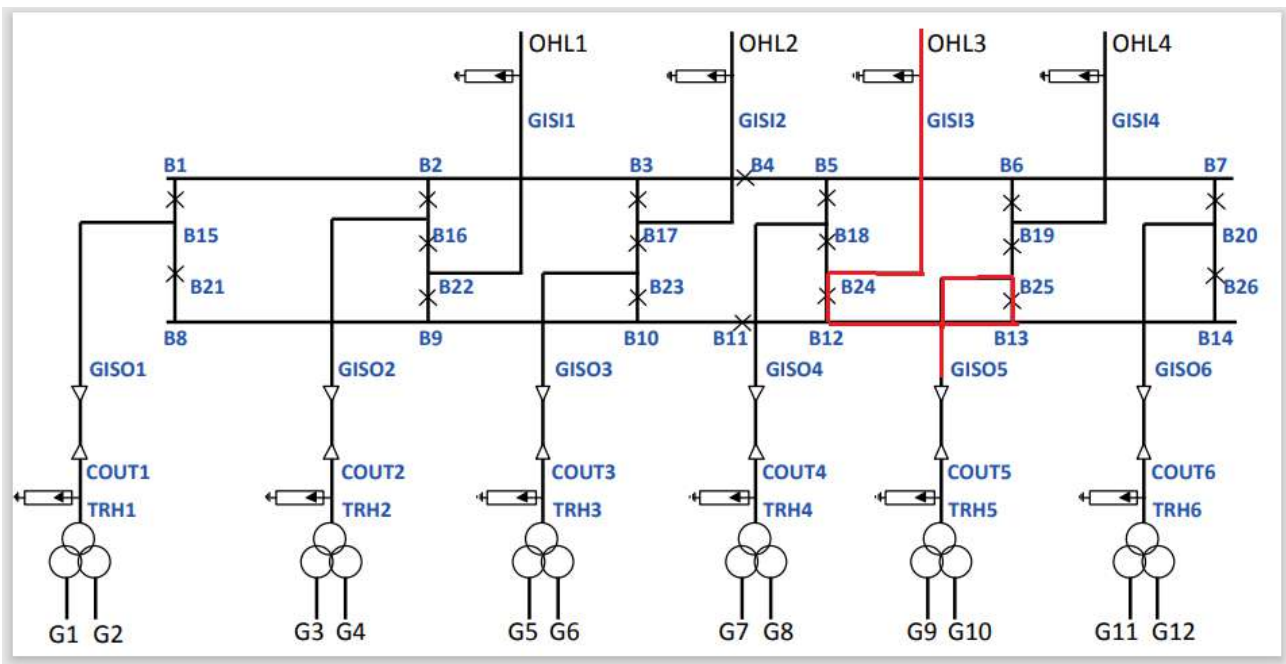


Εικόνα 37: OHL3 συνδεδεμένη με G5/G6

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

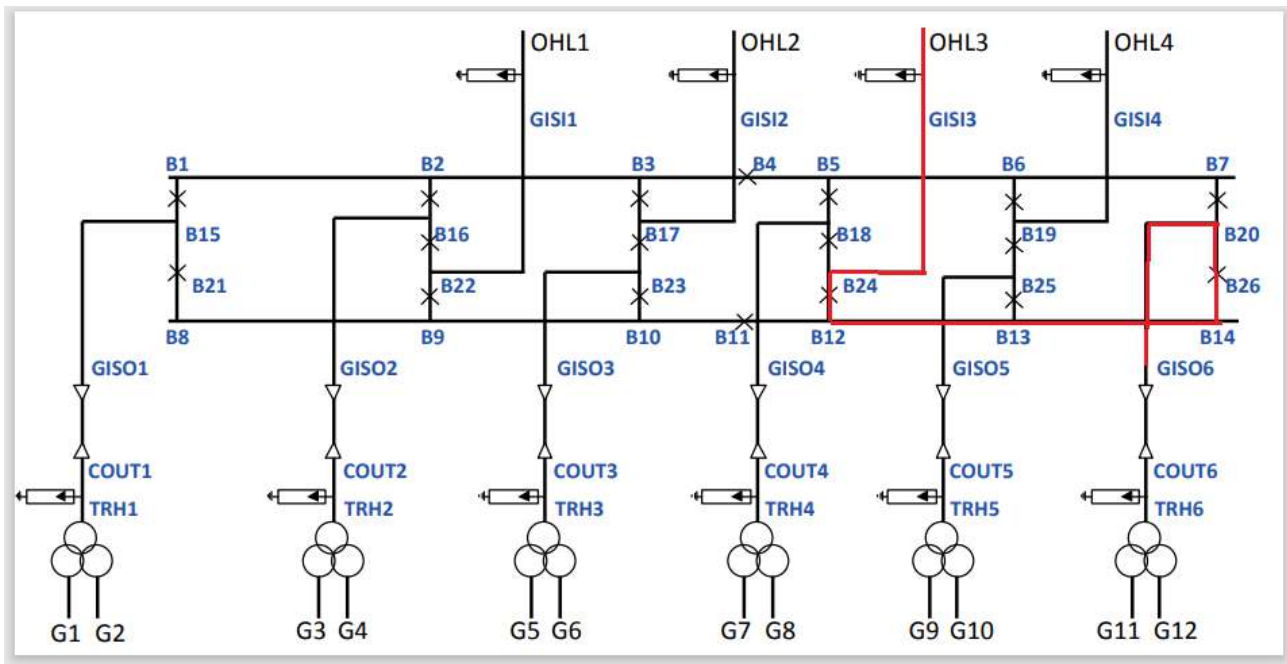


Εικόνα 38: OHL3 συνδεδεμένη με G7/G8



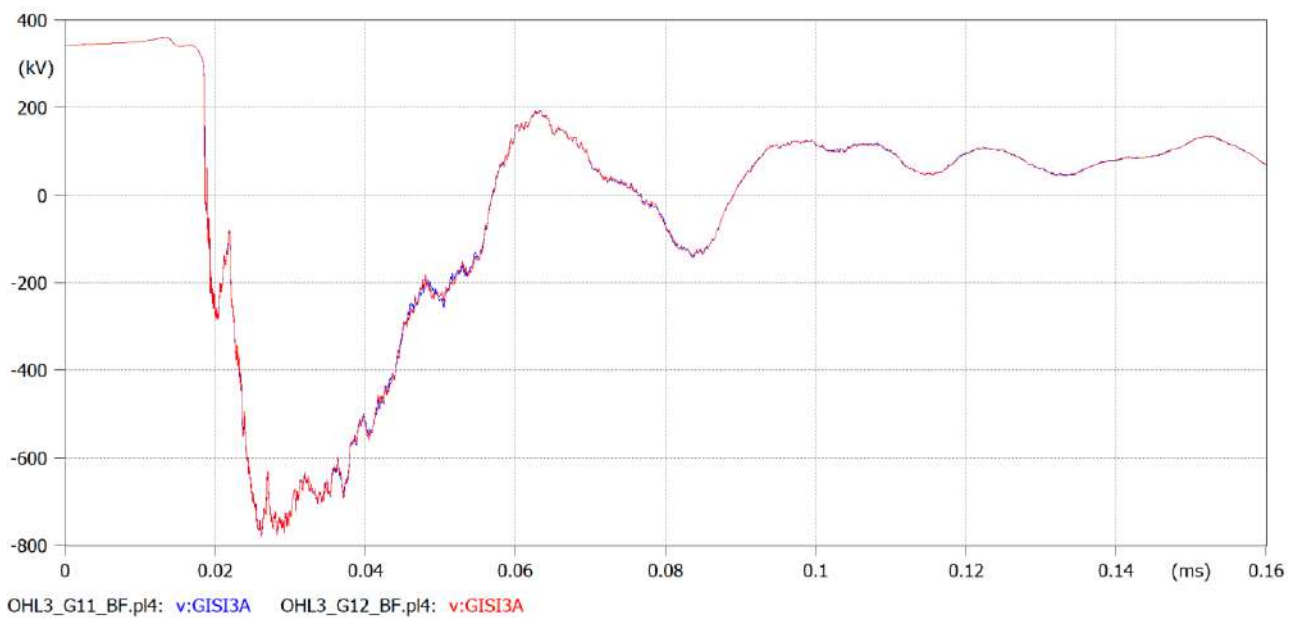
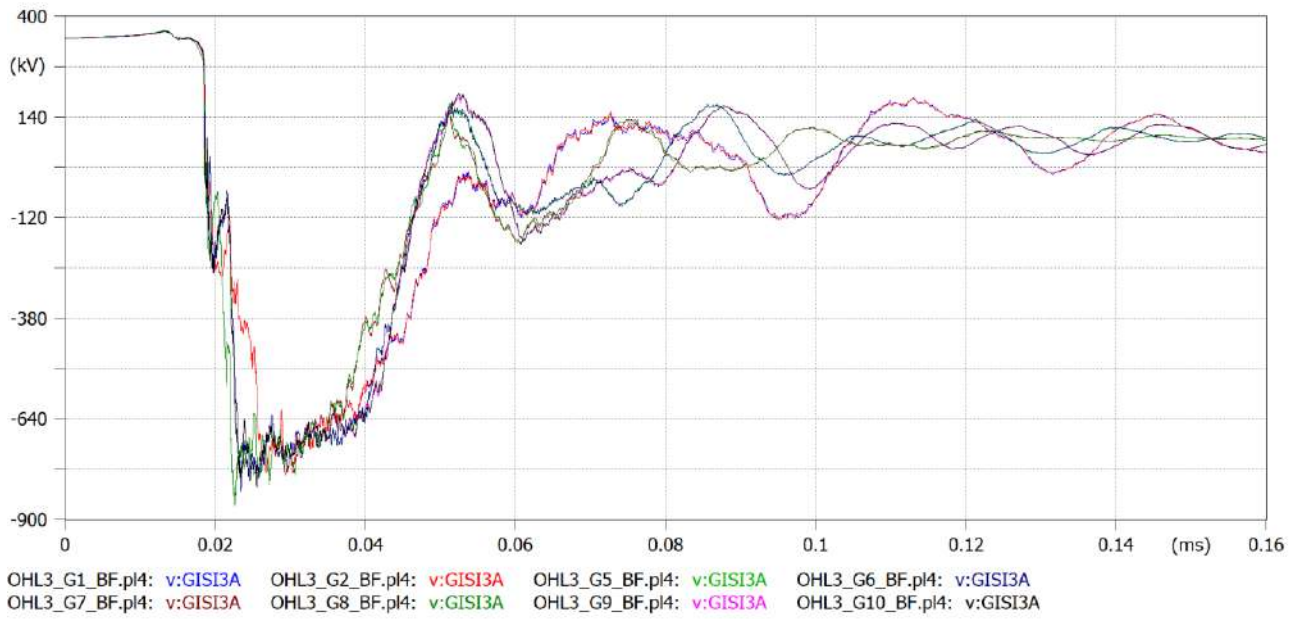
Εικόνα 39: OHL3 συνδεδεμένη με G9/G10

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



Εικόνα 40: OHL3 συνδεδεμένη με G11/G12

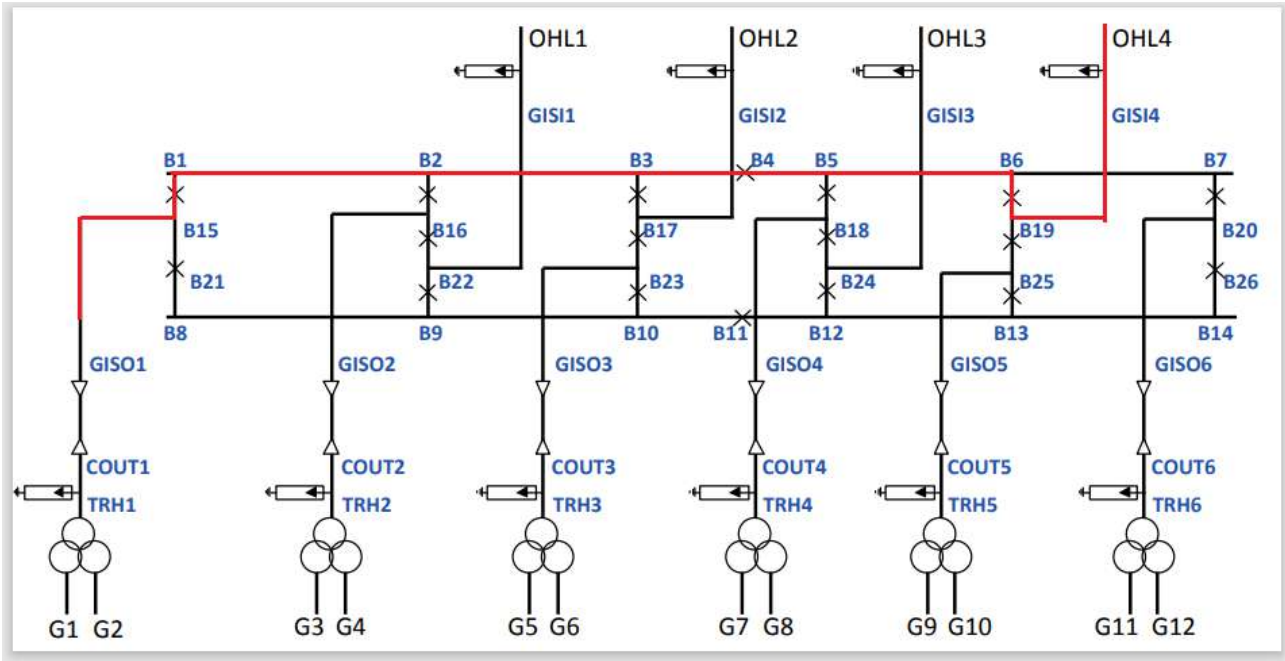
Στην Εικόνα 41 απεικονίζονται οι αντίστοιχες κυματομορφές υπερτάσεων για την είσοδο του ΥΣ. Είναι εμφανές ότι τα συμπεράσματα που προέκυψαν για την γραμμή OHL1 ισχύουν και για τη γραμμή OHL3.



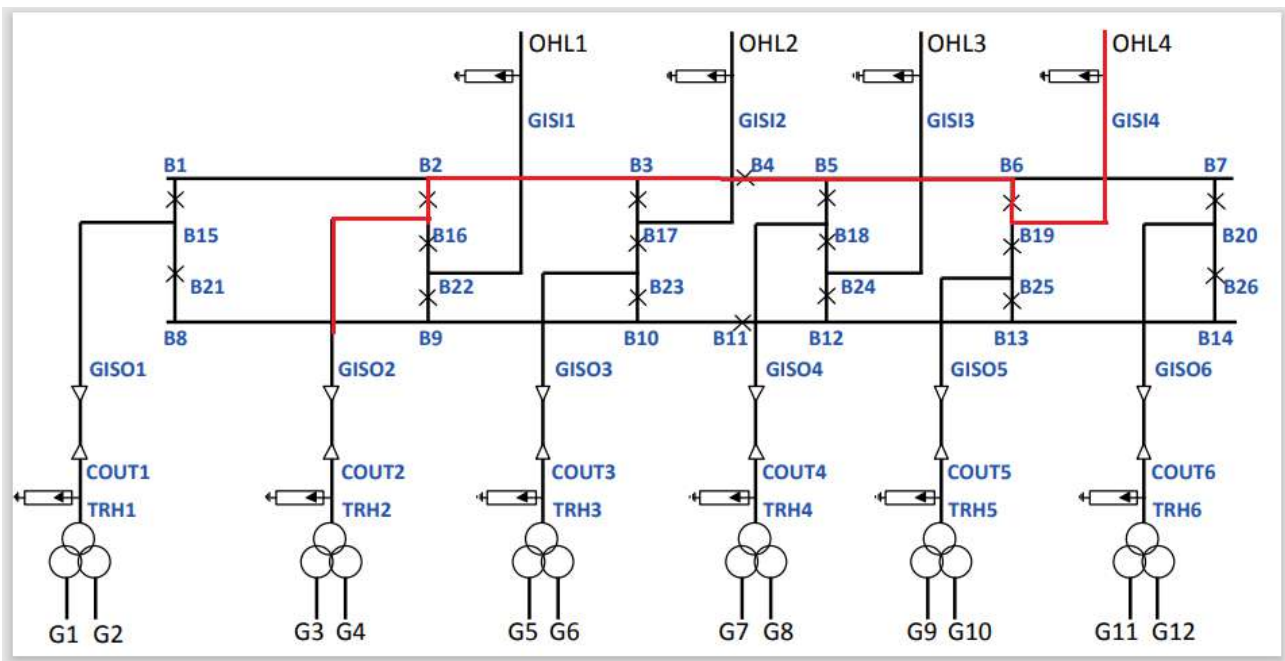
Εικόνα 41: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του ΥΣ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

- OHL4 συνδεδεμένη με 1 γεννήτρια

Παρακάτω παρατίθενται τα απλοποιημένα μονογραμμικά τα οποία αποτυπώνουν την «διαδρομή» από την γραμμή μεταφοράς OHL4 μέχρι το κάθε ζεύγος γεννητριών με την χρήση μόνο του επάνω ζυγού (Εικόνες 42-46).

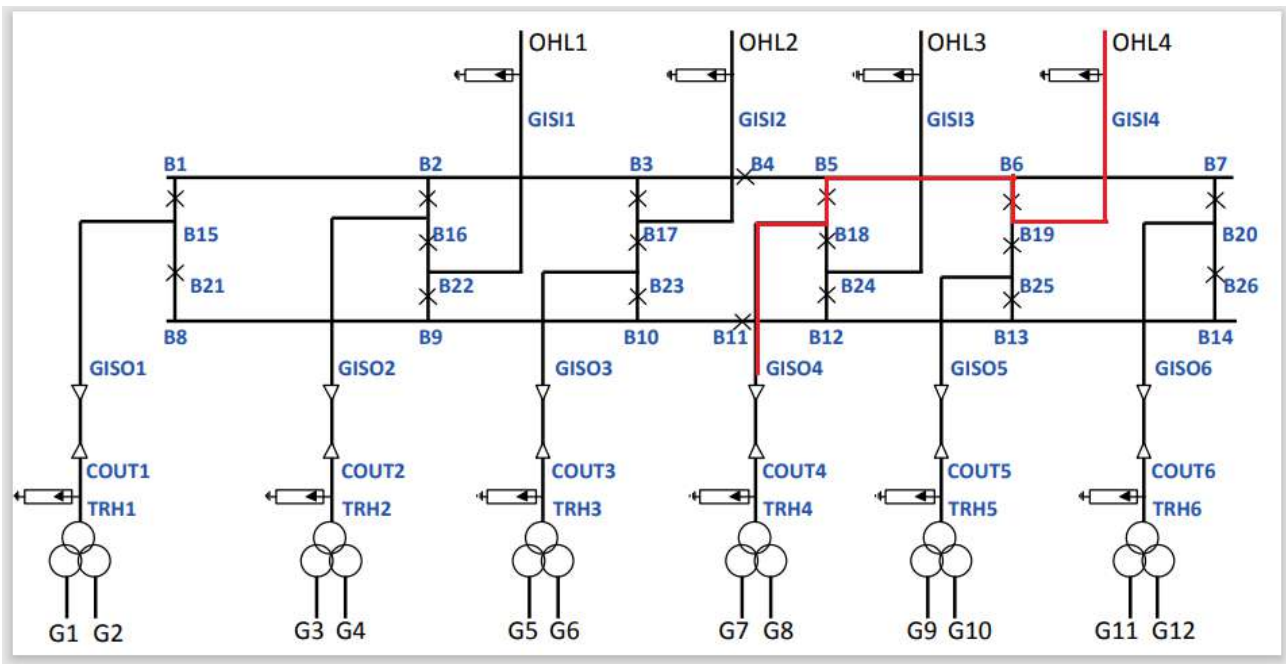


Εικόνα 42: OHL4 συνδεδεμένη με G1/G2

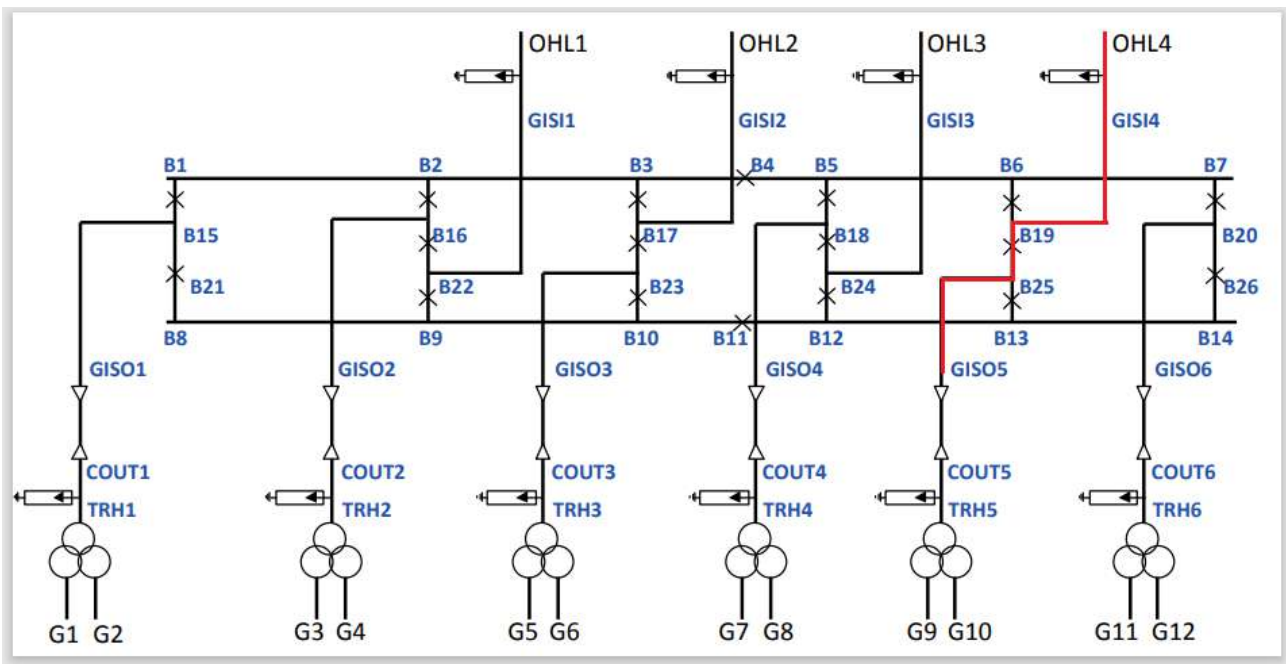


Εικόνα 43: OHL4 συνδεδεμένη με G3/G4

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

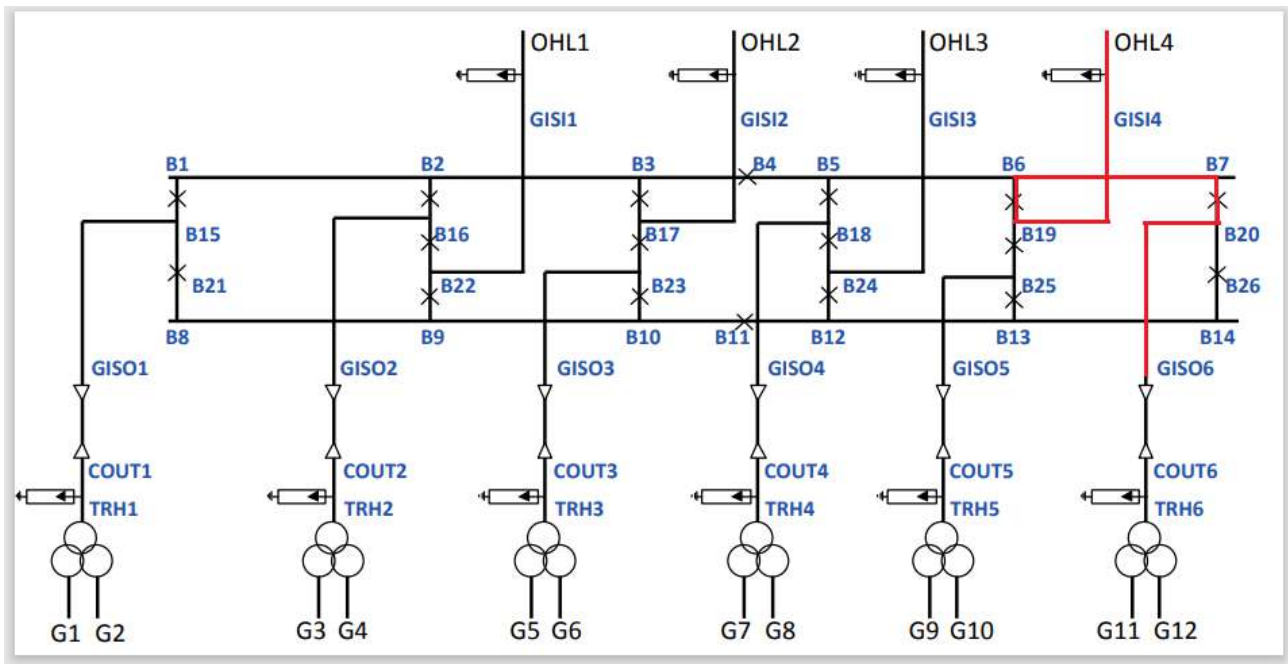


Εικόνα 44: OHL4 συνδεδεμένη με G7/G8



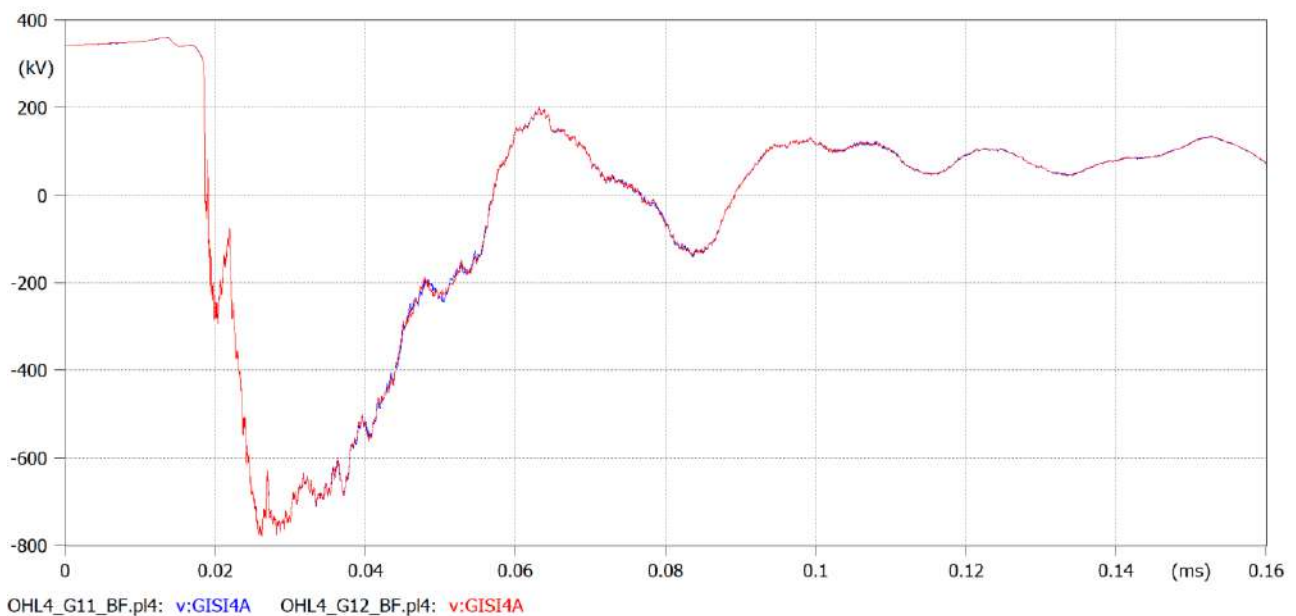
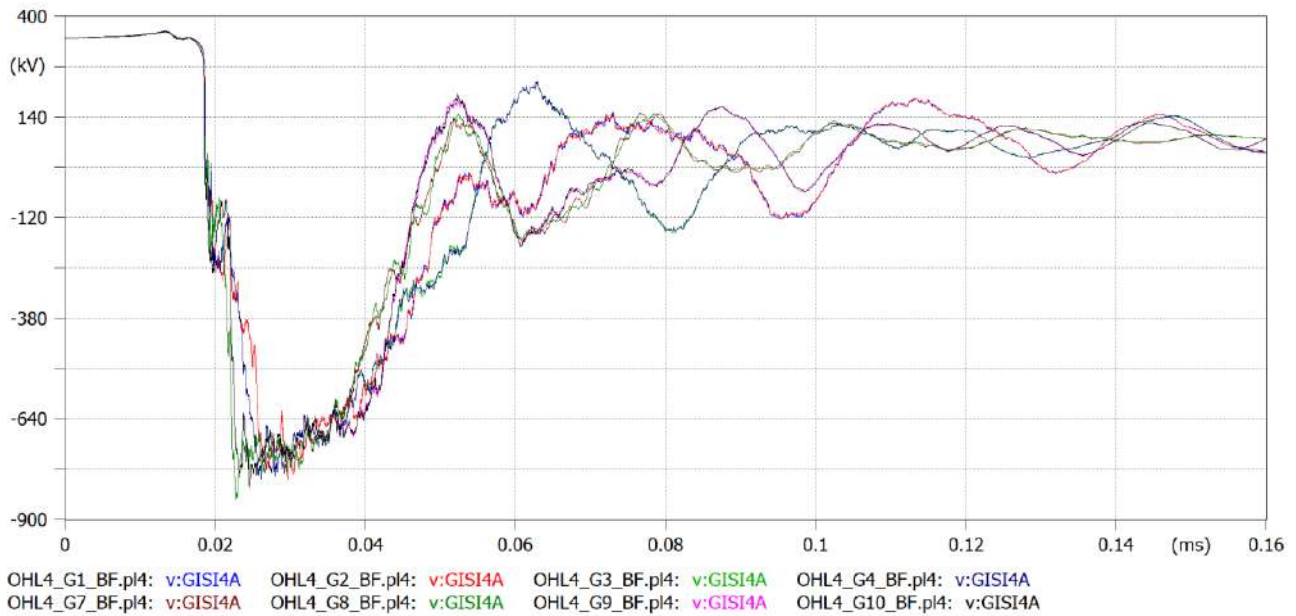
Εικόνα 45: OHL4 συνδεδεμένη με G9/G10

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



Εικόνα 46: OHL4 συνδεδεμένη με G11/G12

Στην Εικόνα 47 απεικονίζονται οι αντίστοιχες κυματομορφές υπερτάσεων για την είσοδο του ΥΣ. Είναι εμφανές ότι τα συμπεράσματα που προέκυψαν για την γραμμή OHL1 ισχύουν και για τη γραμμή OHL4.



Εικόνα 47: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του ΥΣ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

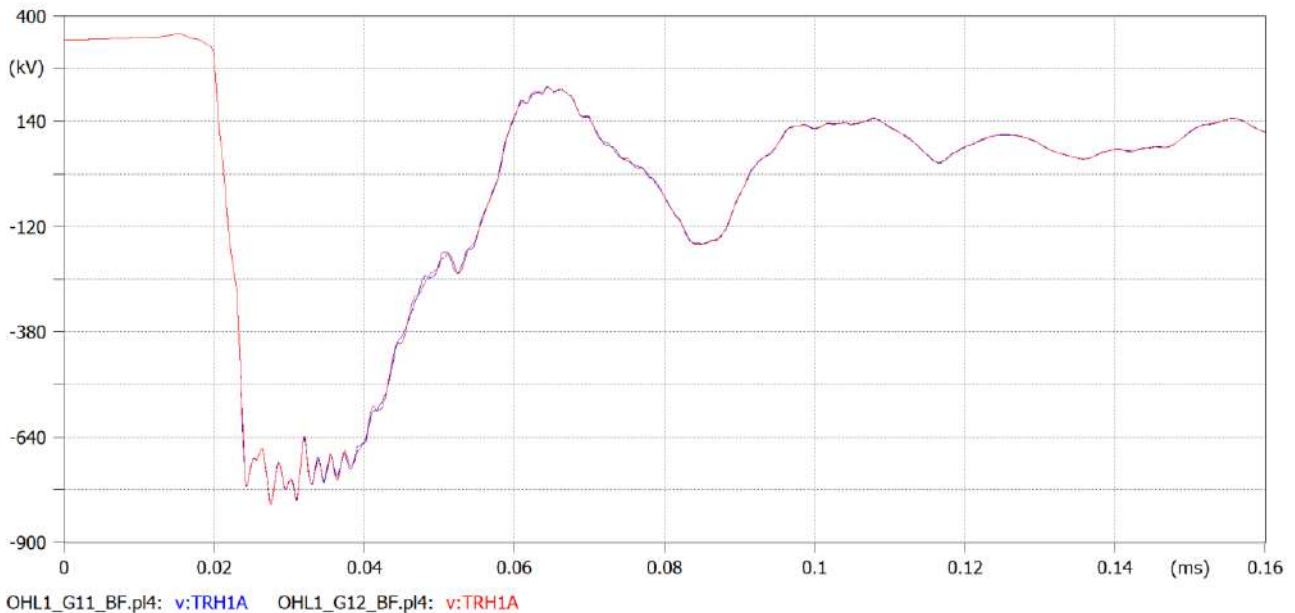
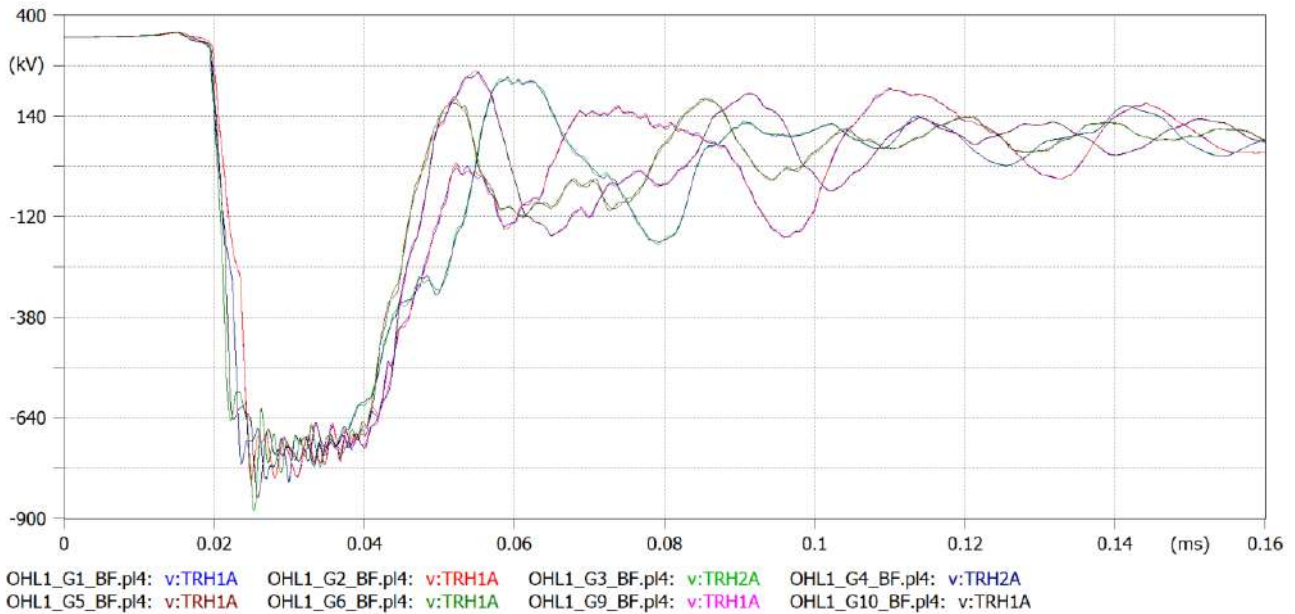
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυματομορφές για τον κόμβο TRH1 για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις. Ο κόμβος αυτός είναι ο ακροδέκτης υψηλής τάσης του εκάστοτε μετασχηματιστή ισχύος. Όπως και στην περίπτωση της εισόδου του ΥΣ GIS, είναι εμφανές ότι στο κρίσιμο για τη μόνωση αρχικό τμήμα τους (έως ~0,05 ms) οι περισσότερες είναι παρόμοιες. Η υπέρταση, ως οδεύον κύμα, αρχικά φθάνει σχεδόν στον ίδιο χρόνο στην είσοδο του Μ/Σ, καθώς η διάσπαση της μόνωσης της ΓΜ γίνεται σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Εδώ μικρές διαφορές οφείλονται σε διαφορετικό μήκος καλωδίου ισχύος. Οι τιμές κορυφής

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

των υπερτάσεων δεν διαφέρουν ιδιαίτερα, ίσως και λόγω της ύπαρξης των εκτροπέων υπέρτασης που προστατεύουν τον μετασχηματιστή. Η επίδραση των διαφορών αυτών στις υπερτάσεις δεν είναι σημαντική από πλευράς συντονισμού μονώσεων. Το ίδιο ισχύει και για την επίδραση στην ουρά, μετά τα ~0,05 ms.

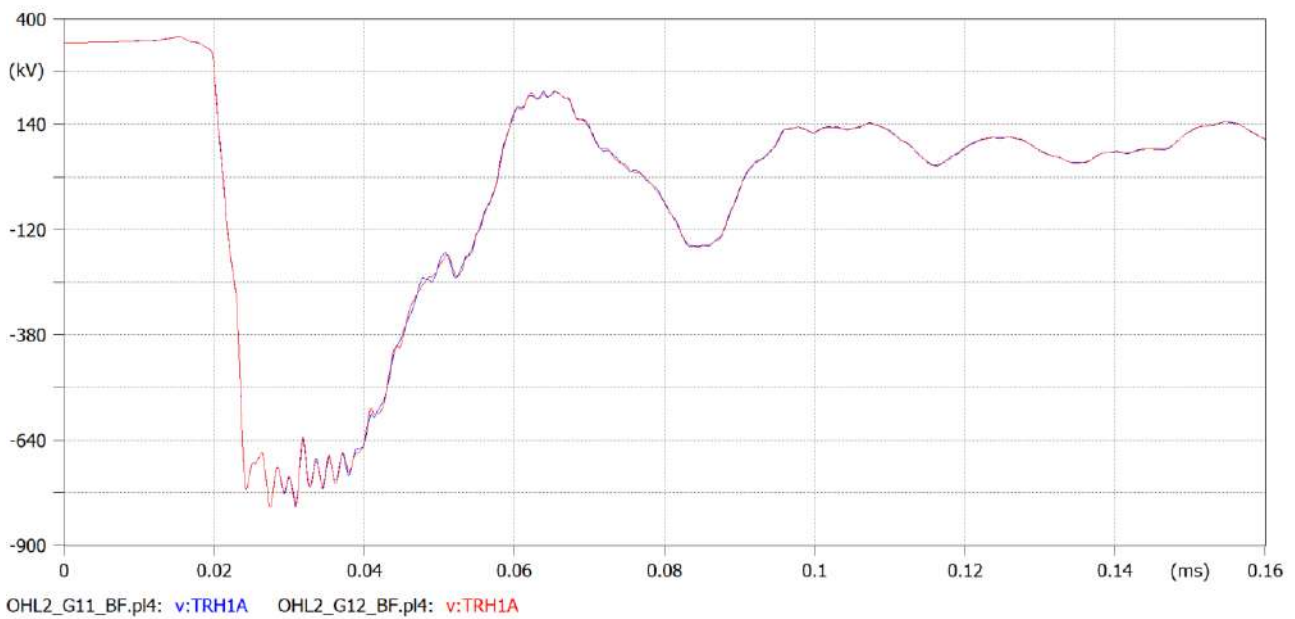
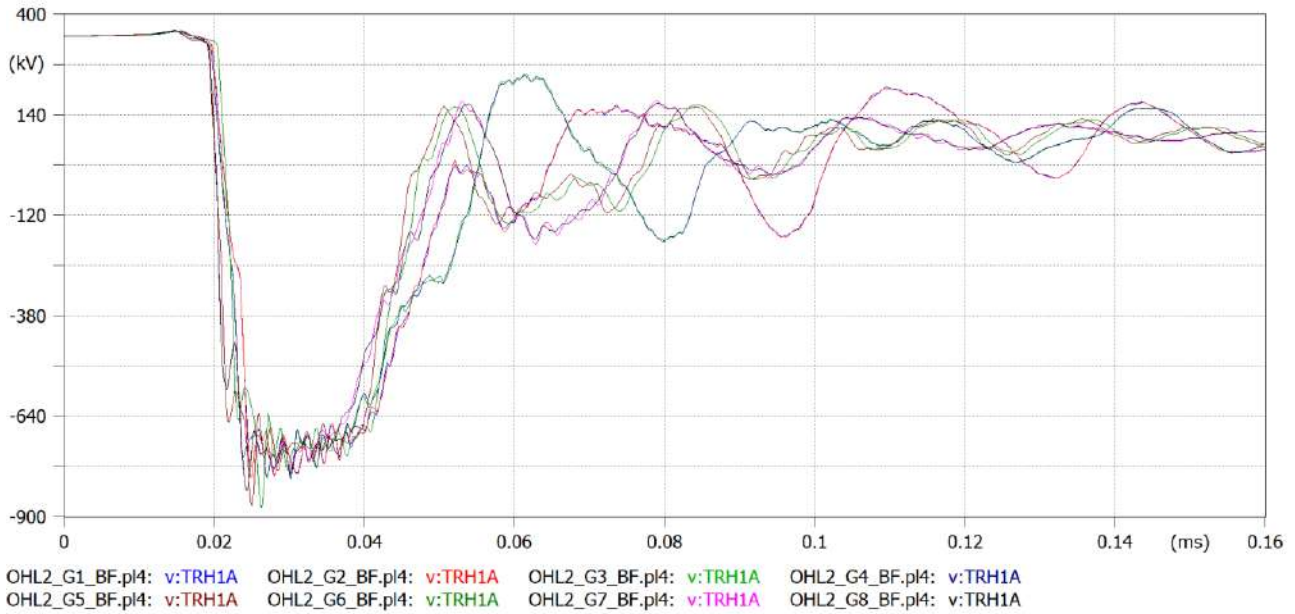
➤ Για τον κόμβο του Μ/Σ

- OHL1 συνδεδεμένη με 1 γεννήτρια



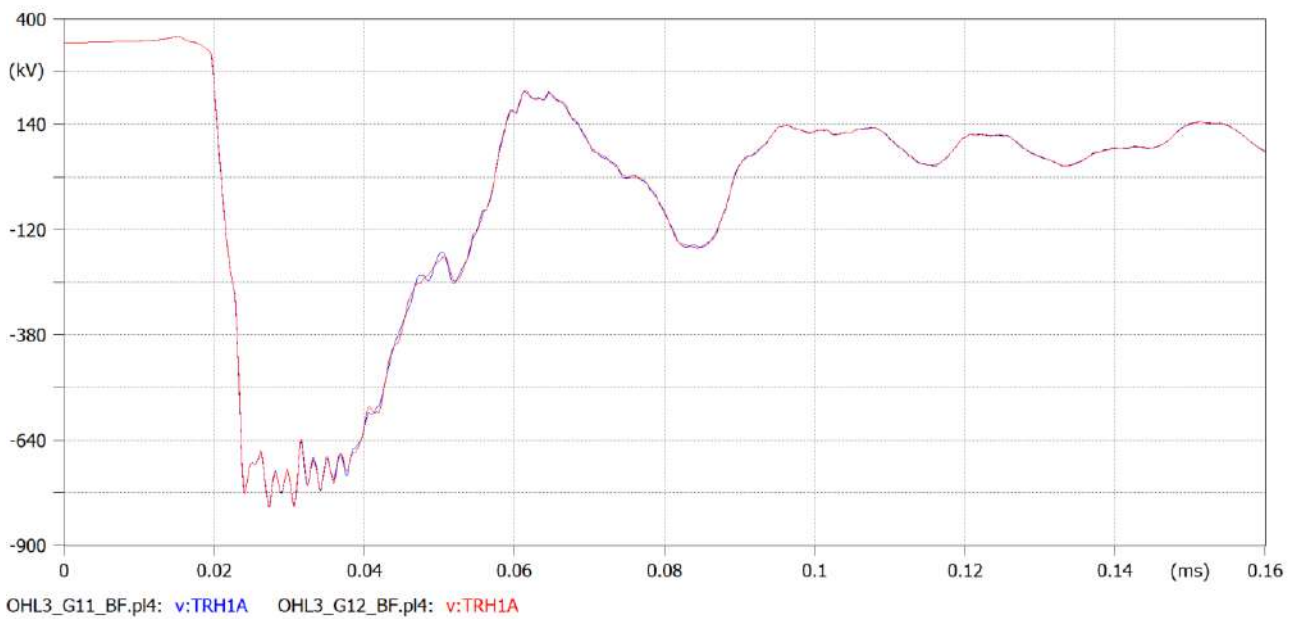
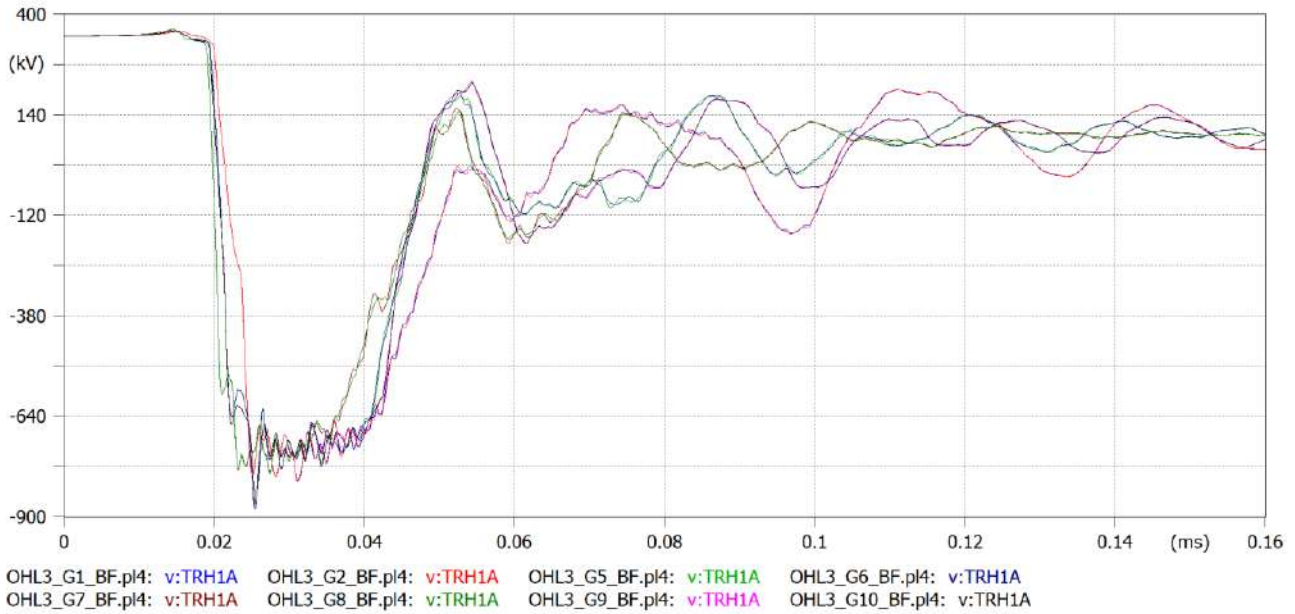
Εικόνα 48: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής τάσης του Μ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

• OHL2 συνδεδεμένη με 1 γεννήτρια



Εικόνα 49: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής τάσης του Μ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

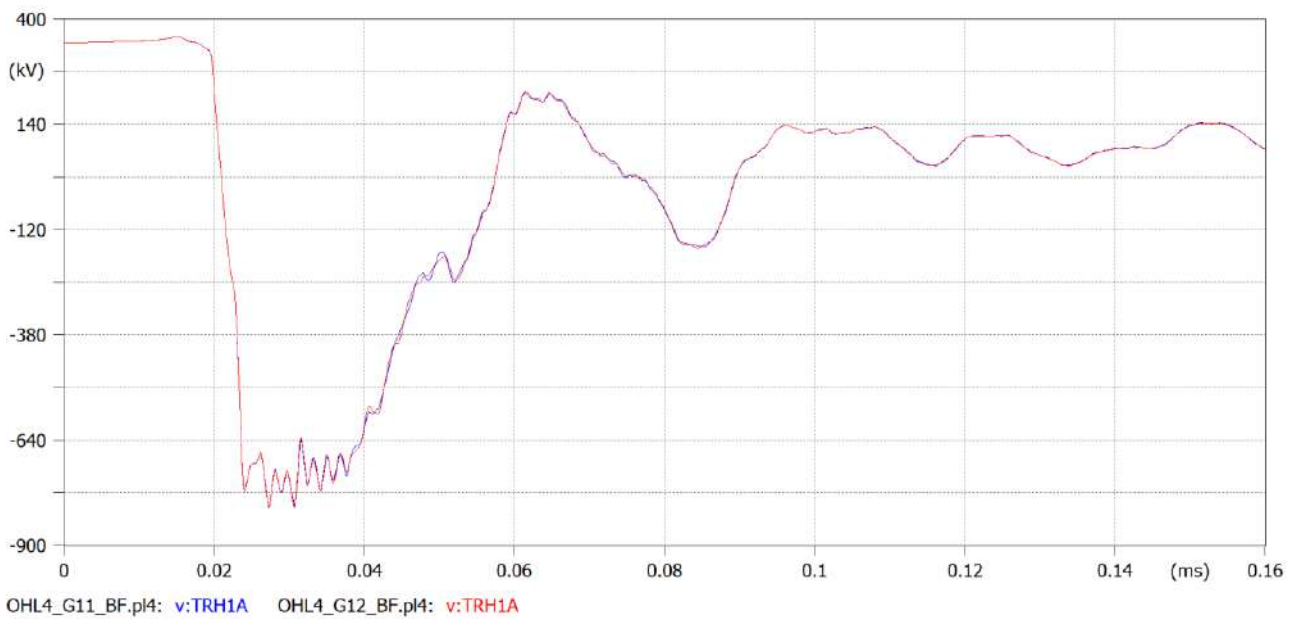
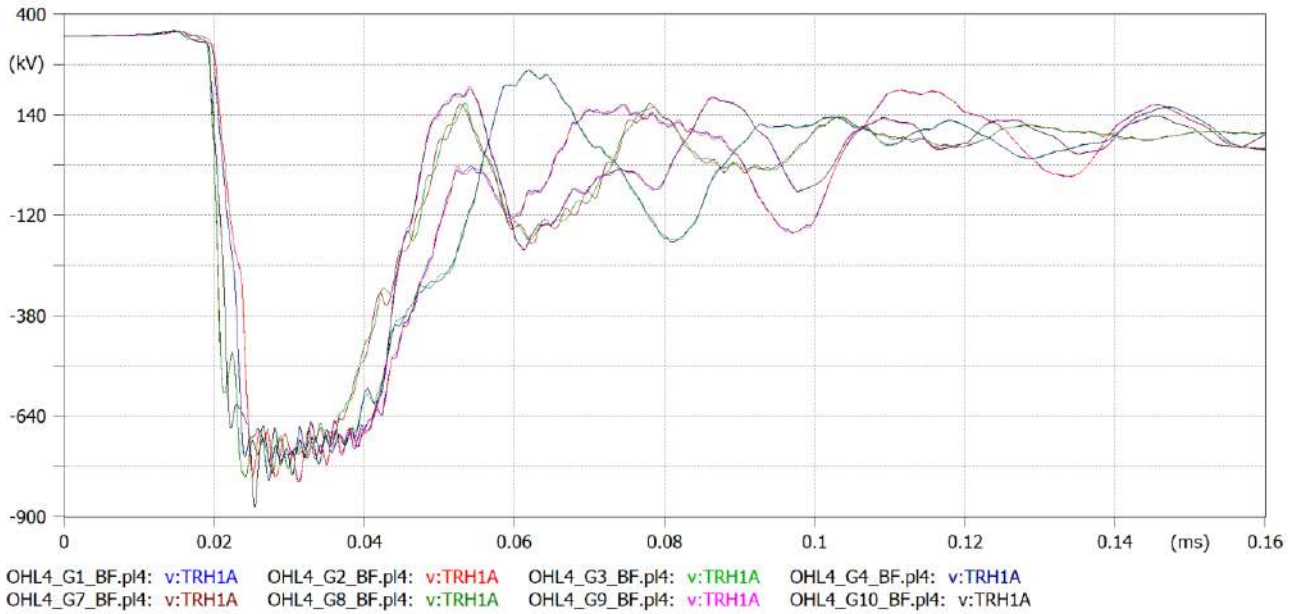
• OHL3 συνδεδεμένη με 1 γεννήτρια



Εικόνα 50: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής τάσης του Μ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

• OHL4 συνδεδεμένη με 1 γεννήτρια

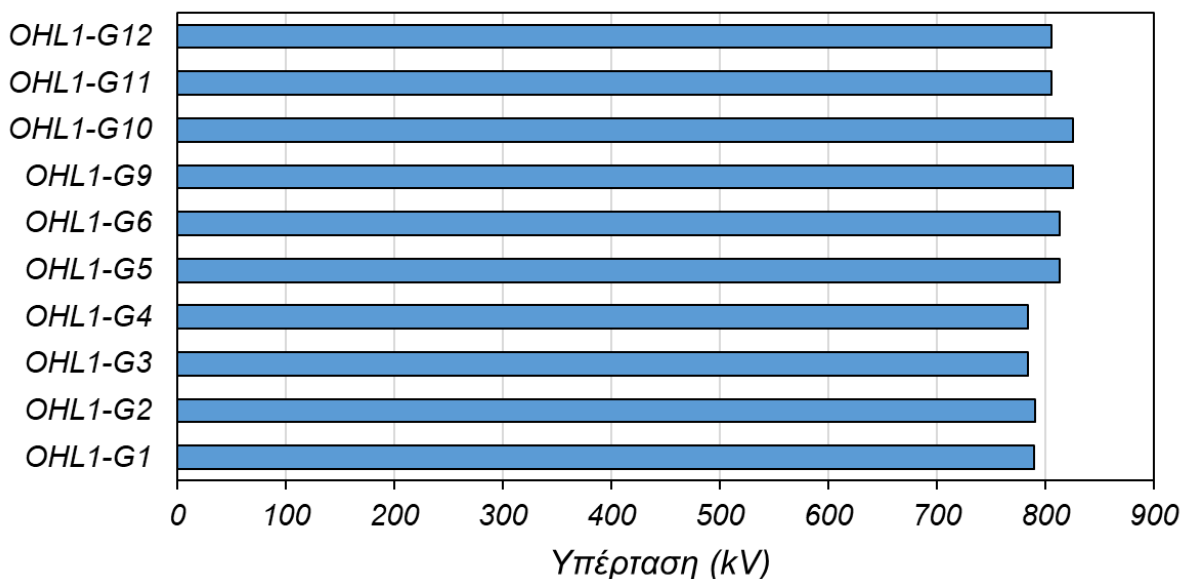


Εικόνα 51: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής τάσης του Μ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

Από τα γραφήματα των κυματομορφών των υπερτάσεων καταγράφηκαν οι τιμές κορυφής γιατί αυτές είναι που καταπονούν περισσότερο τη μόνωση του εξοπλισμού. Αυτές οι τιμές στη συνέχεια θα παρατεθούν με μορφή ραβδογράμματος για τους κόμβους GIS1 (είσοδος GIS για την κάθε γραμμή μεταφοράς, GIS0 (έξοδος GIS, είσοδος καλωδίου ισχύος) TRH (πλευρά υψηλής τάσης του μετασχηματιστή ισχύος, έξοδος καλωδίου ισχύος), TRL (πλευρά χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή ισχύος), G (γεννήτρια σταθμού παραγωγής). Οι κόμβοι απεικονίζονται στα αντίστοιχα απλοποιημένα μονογραμμικά που παρουσιάστηκαν και στο γενικό της Εικόνας 23.

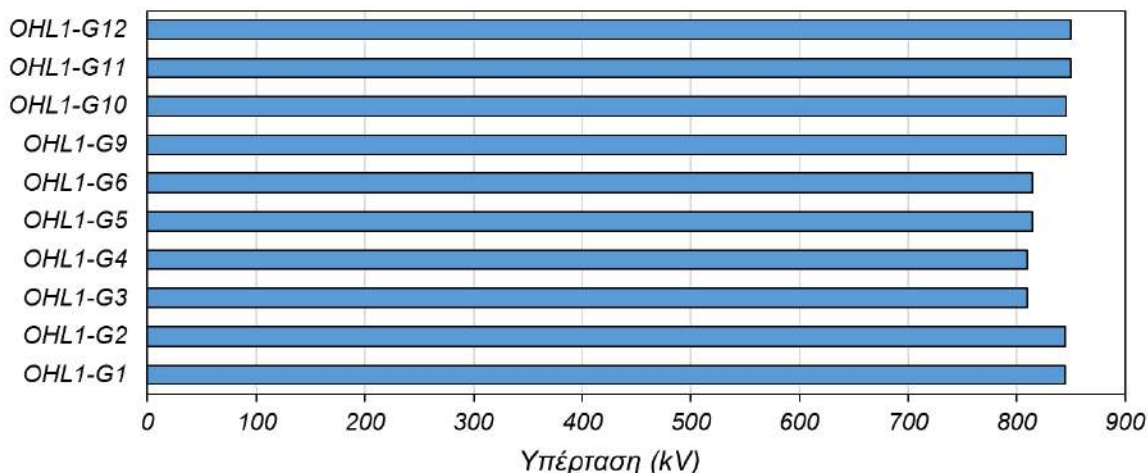
➤ Για την OHL1

• Κόμβος GIS11



Εικόνα 52: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην είσοδο του Υ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

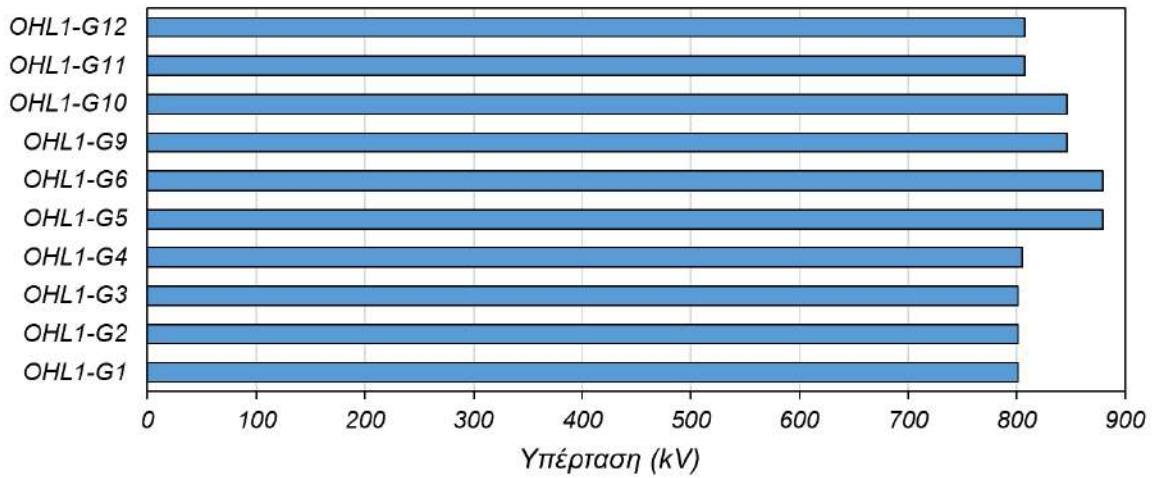
• Κόμβος GIS01



Εικόνα 53: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

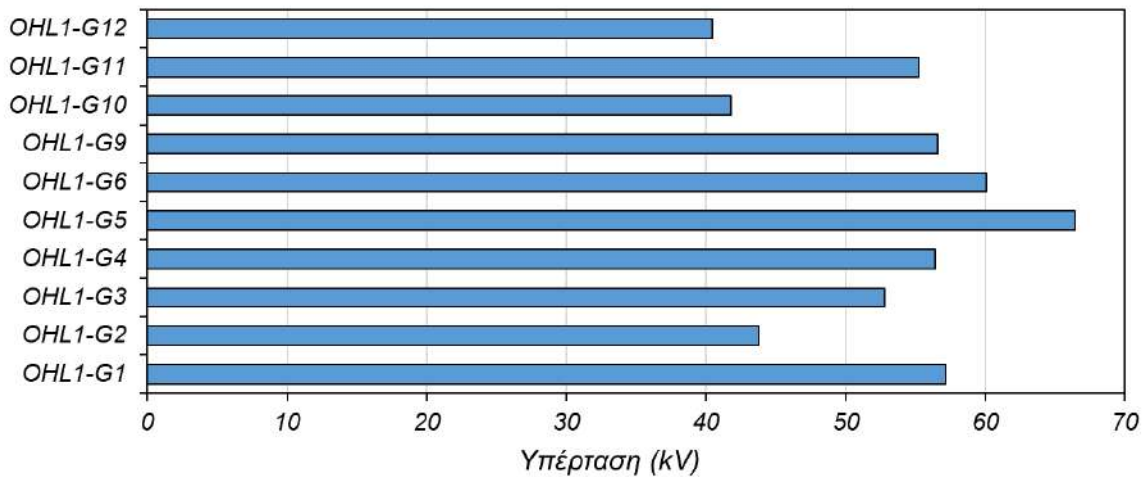
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



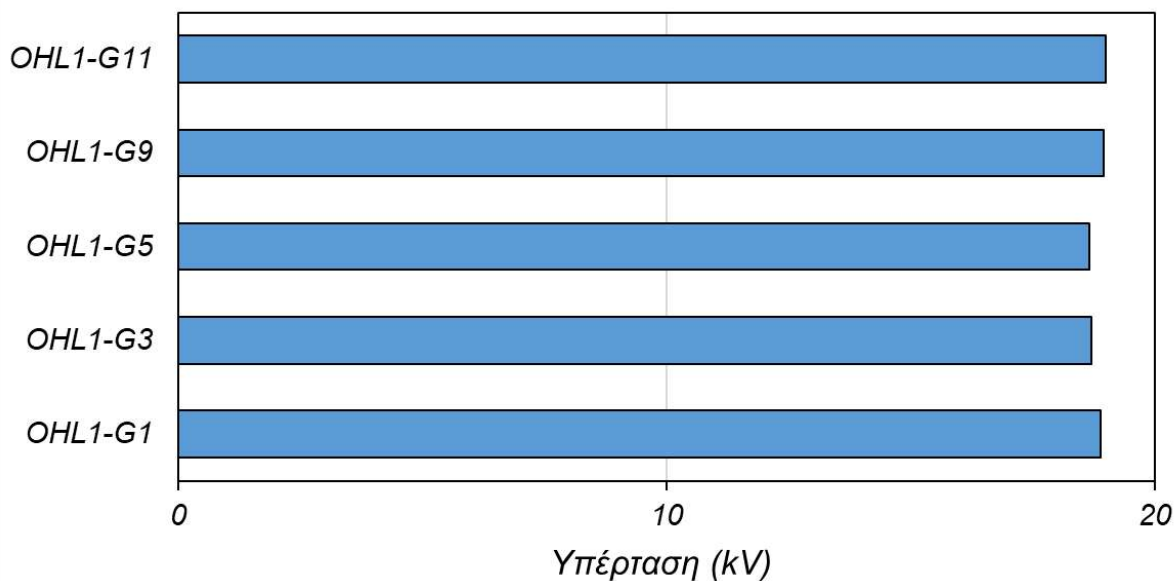
Εικόνα 54: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

- Κόμβος TRL12



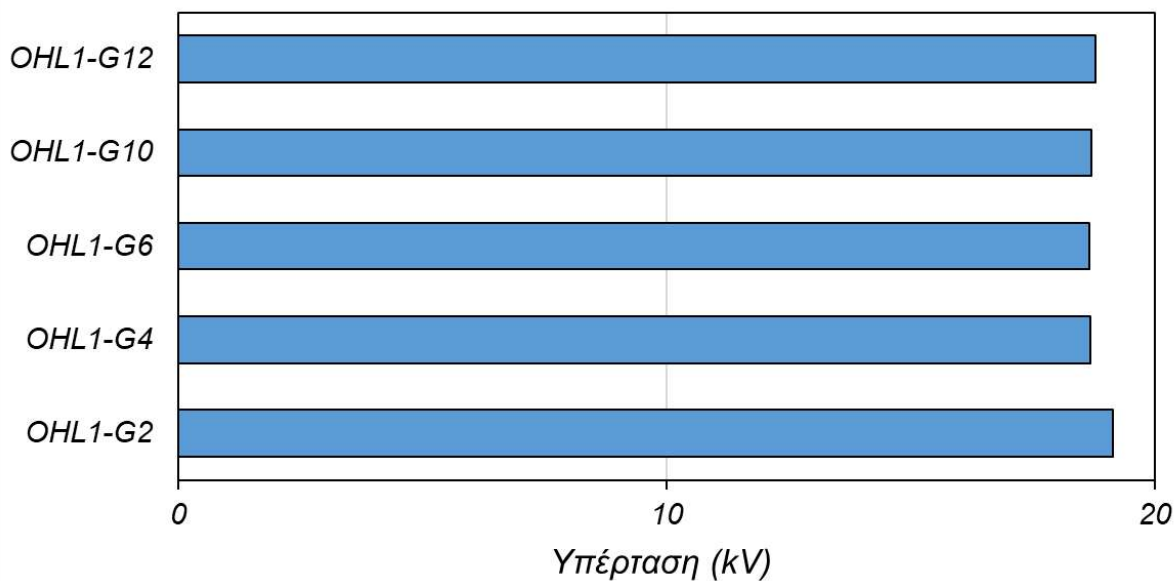
Εικόνα 55: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

• Κόμβος G



Εικόνα 56: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

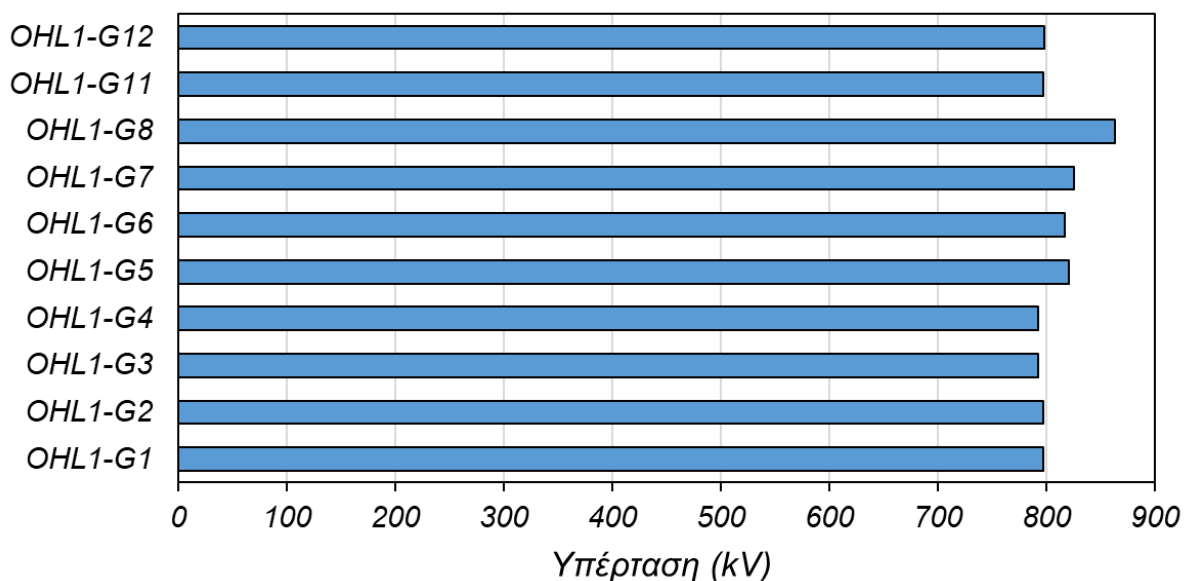
• Κόμβος G



Εικόνα 57: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

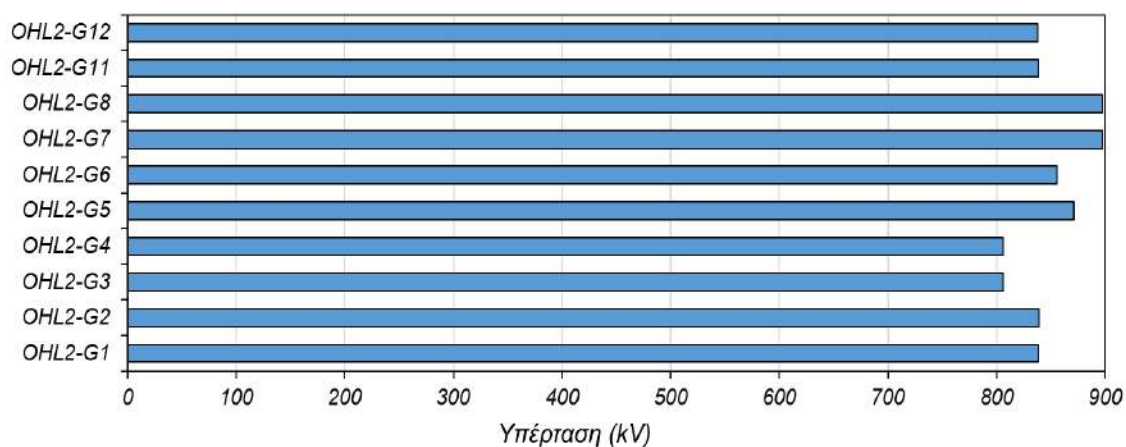
➤ Για την OHL2

• Κόμβος GISI1



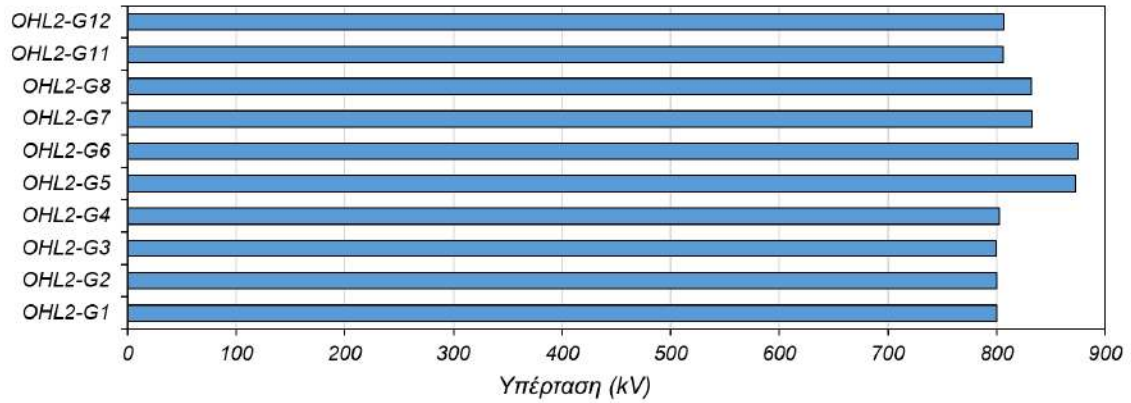
Εικόνα 58: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην είσοδο του Υ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

• Κόμβος GISO1



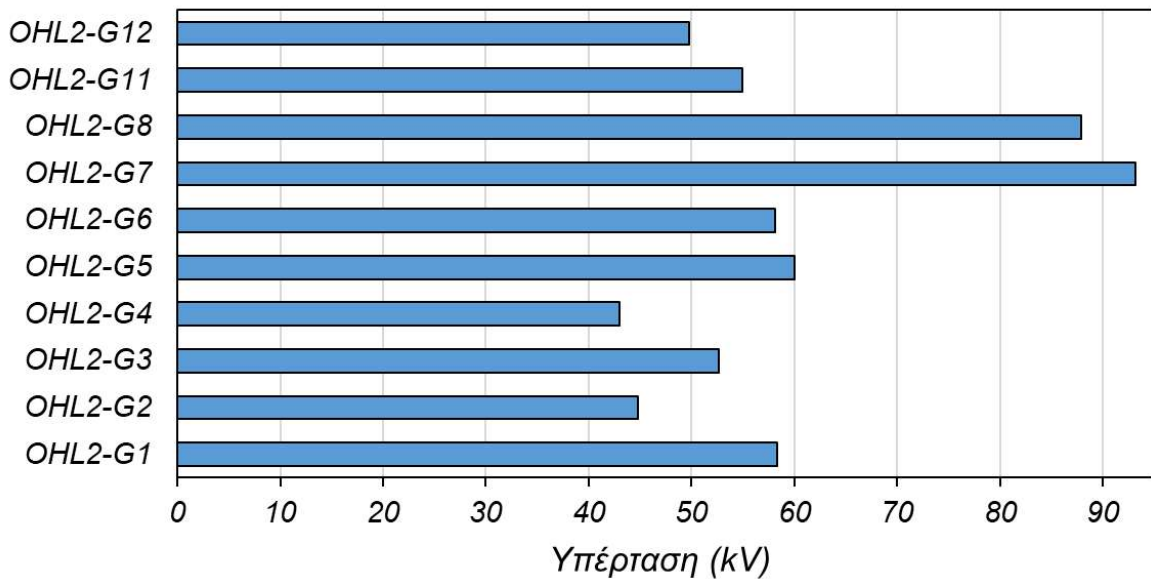
Εικόνα 59: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

- **Κόμβος TRH1**



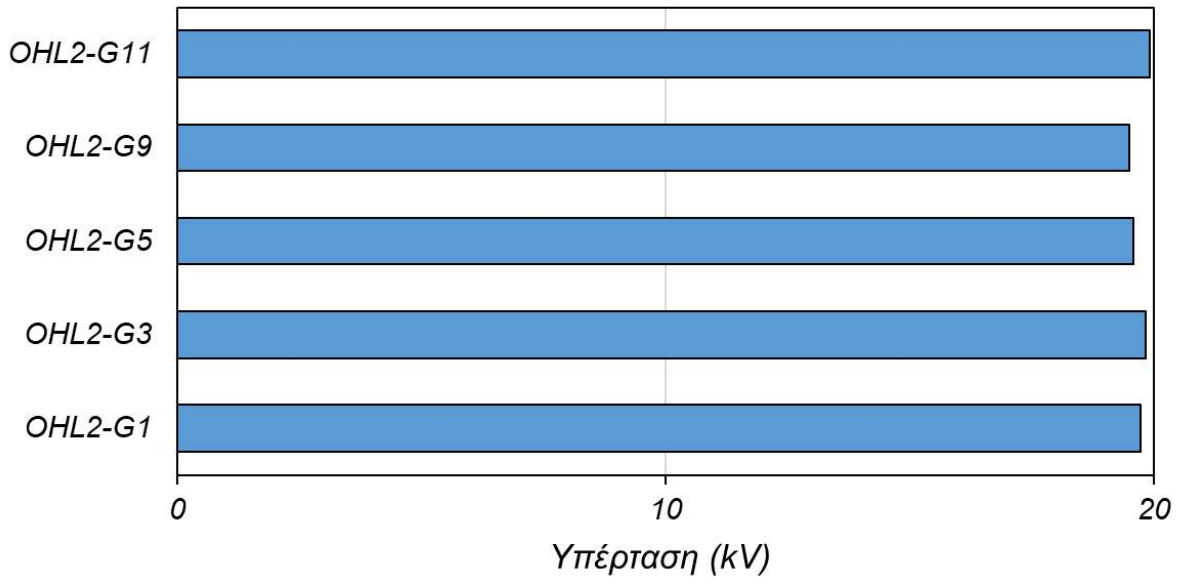
Εικόνα 60: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

- **Κόμβος TRL12**



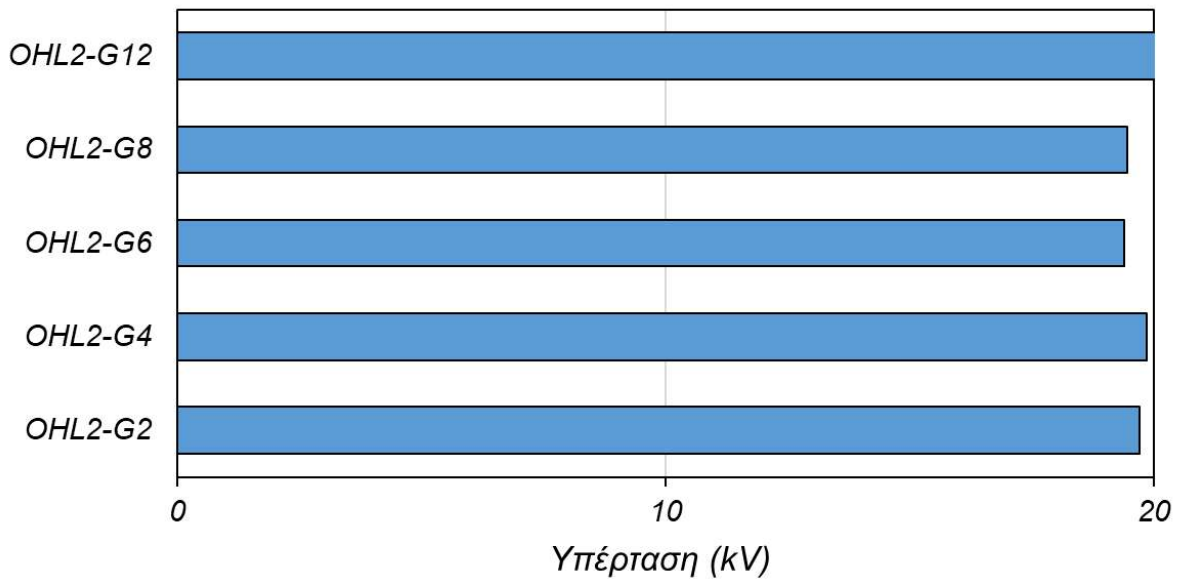
Εικόνα 61: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

• Κόμβος G



Εικόνα 62: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

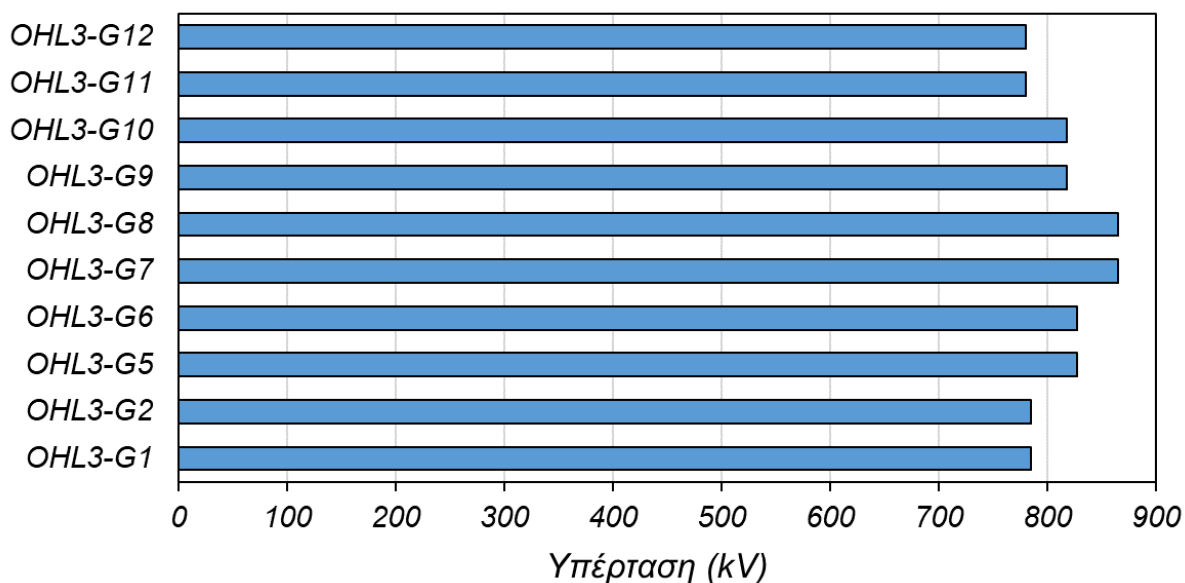
• Κόμβος G



Εικόνα 63: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

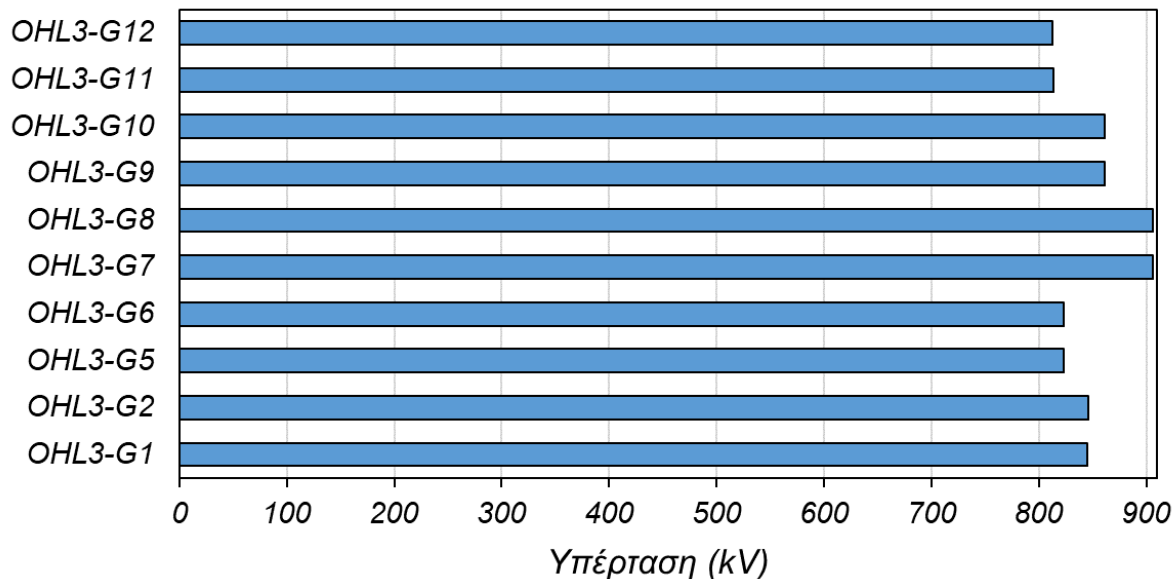
➤ Για την ΟΗΛ3

• Κόμβος GIS11



Εικόνα 64: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην είσοδο του Υ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς ΟΗΛ3 με μία γεννήτρια

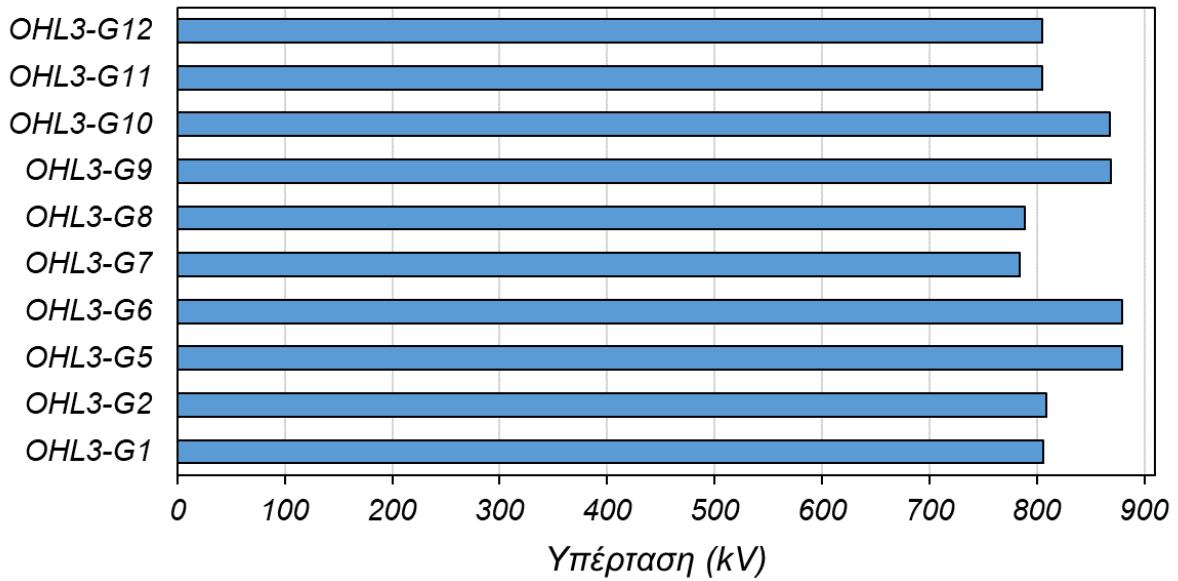
• Κόμβος GIS01



Εικόνα 65: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς ΟΗΛ3 με μία γεννήτρια

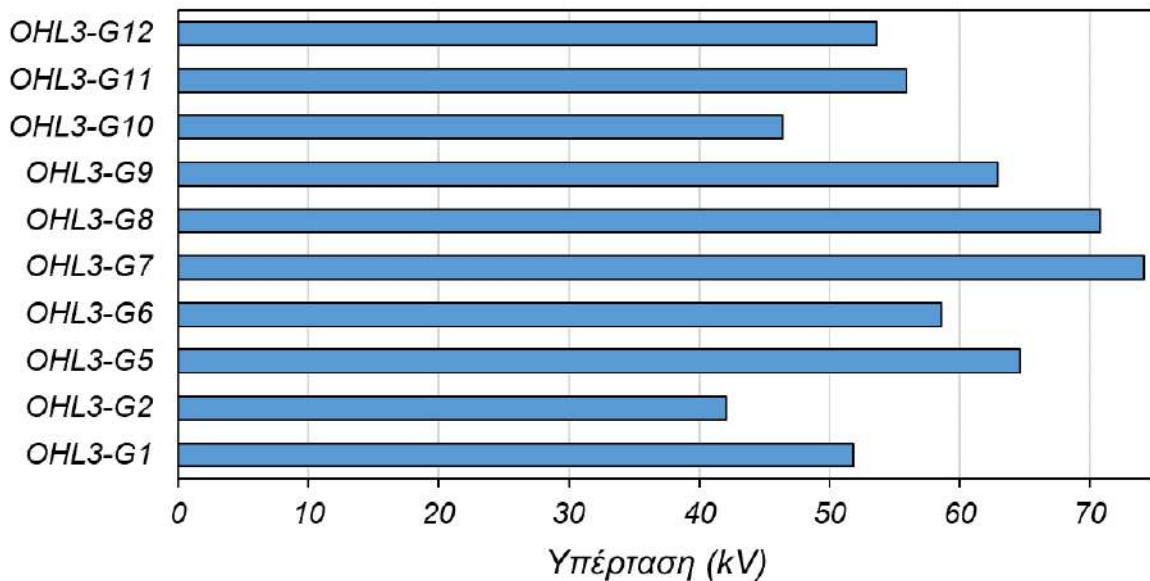
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



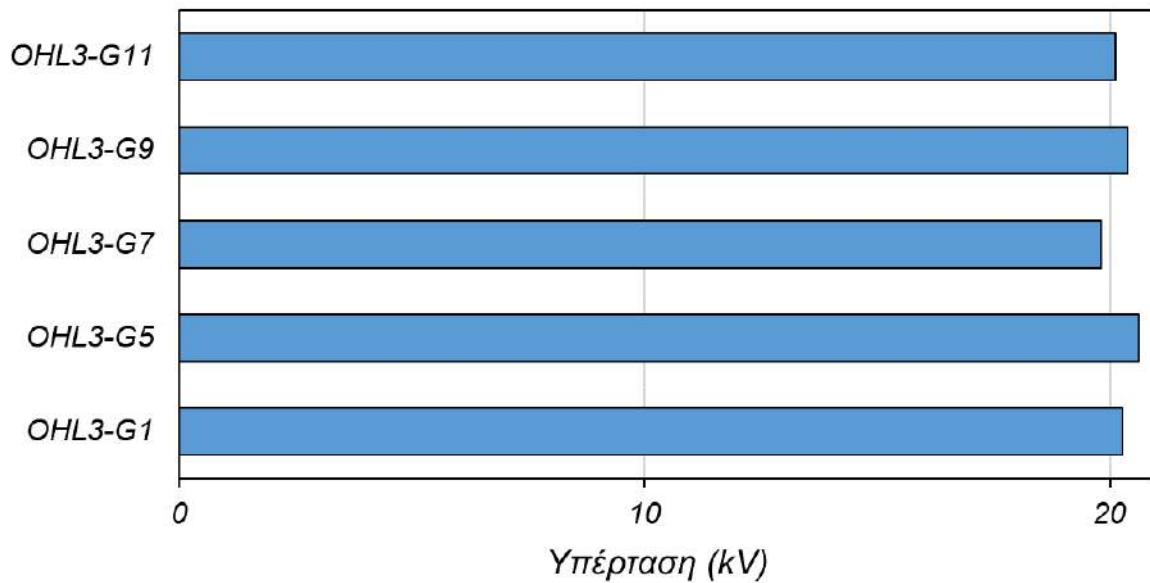
Εικόνα 66: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

- Κόμβος TRL12



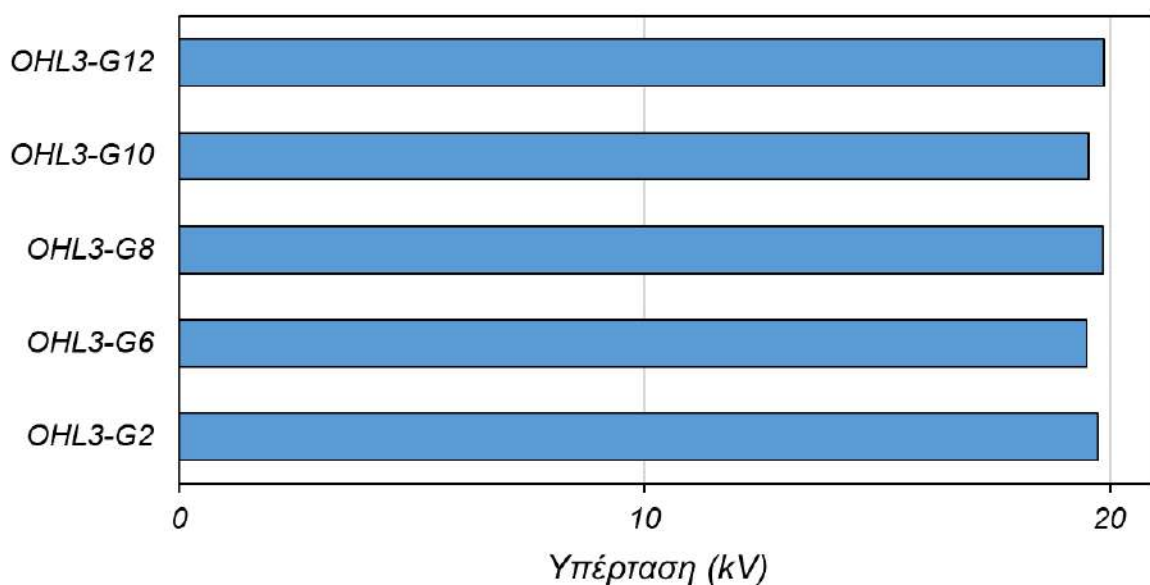
Εικόνα 67: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά χαμηλής του Υ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

- Κόμβος G



Εικόνα 68: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

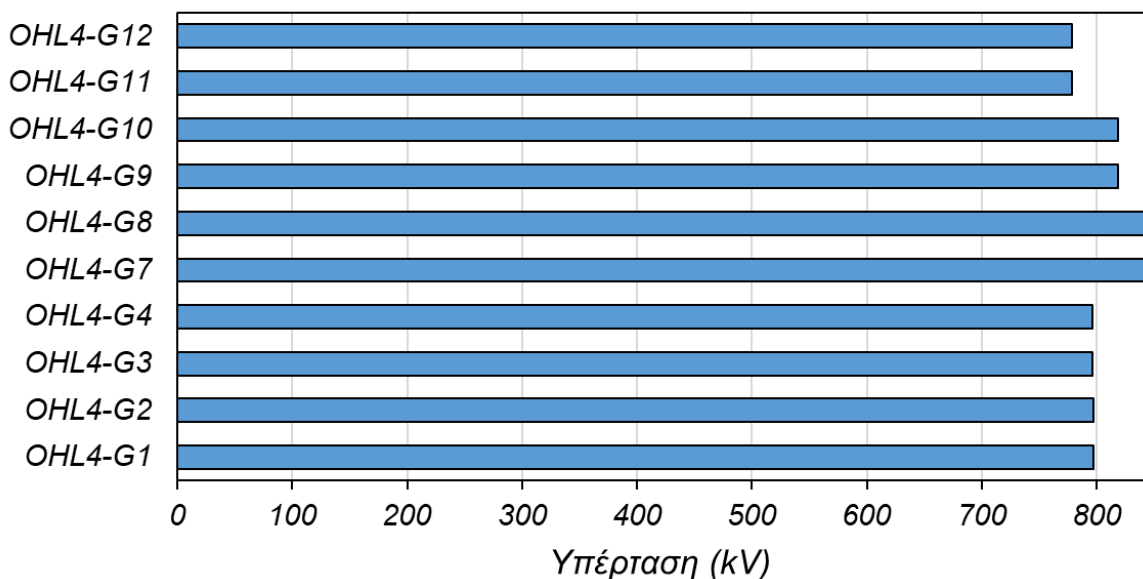
- Κόμβος G



Εικόνα 69: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

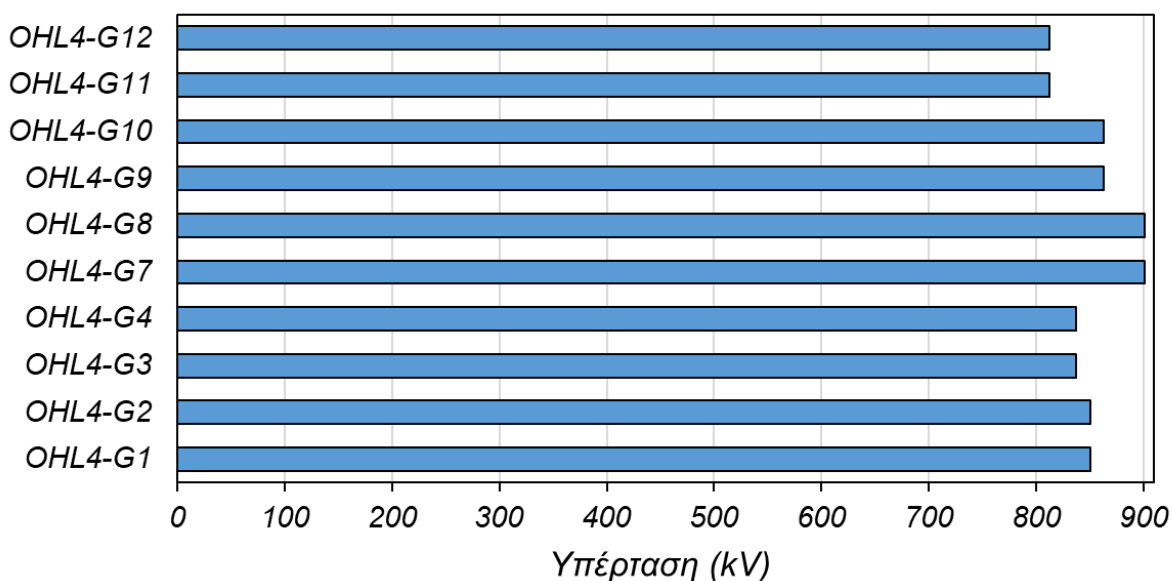
➤ Για την OHL4

- Κόμβος GISI1



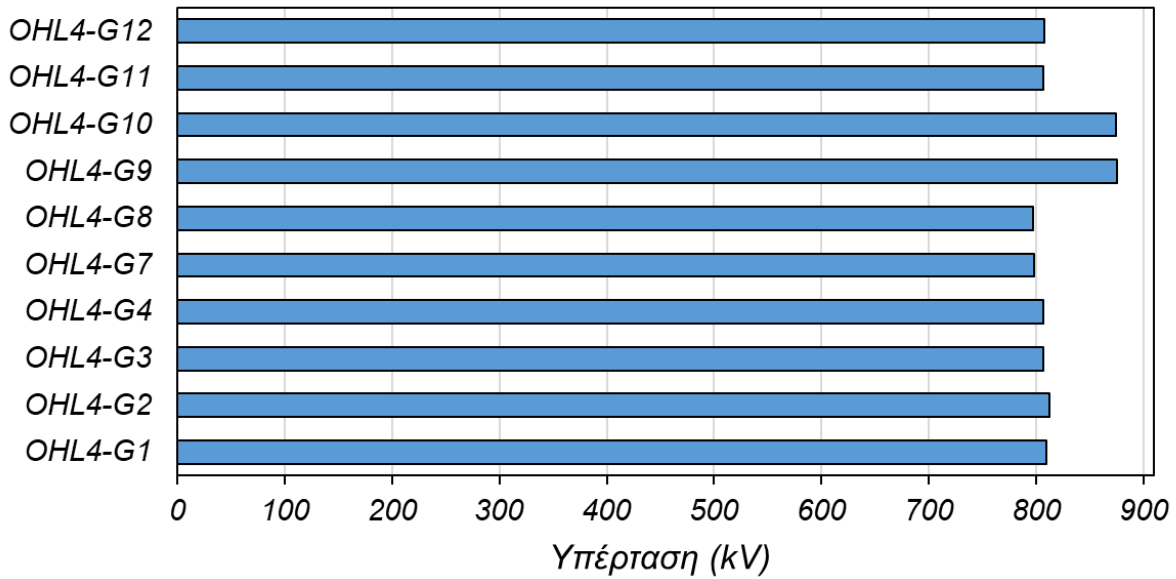
Εικόνα 70: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην είσοδο του Υ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

- Κόμβος GISO1



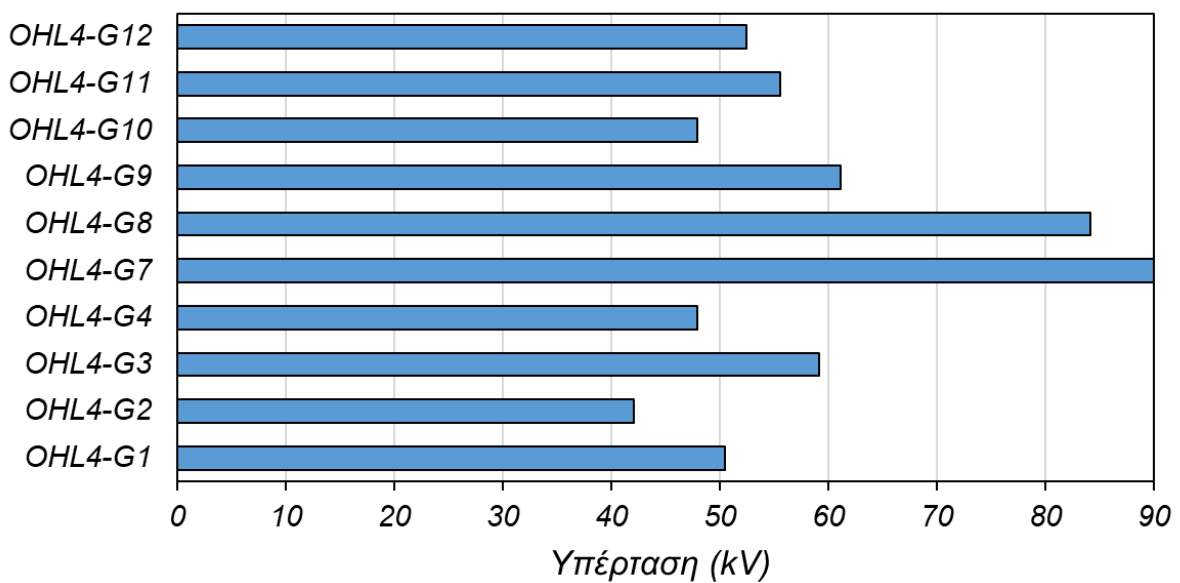
Εικόνα 71: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

- Κόμβος TRH1



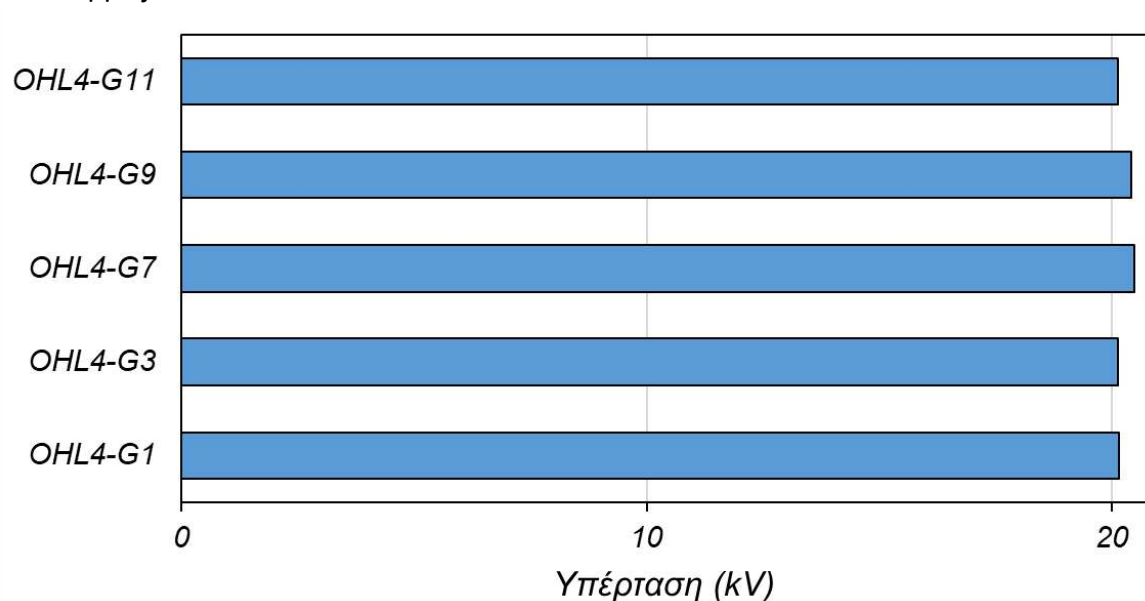
Εικόνα 72: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

- Κόμβος TRL12



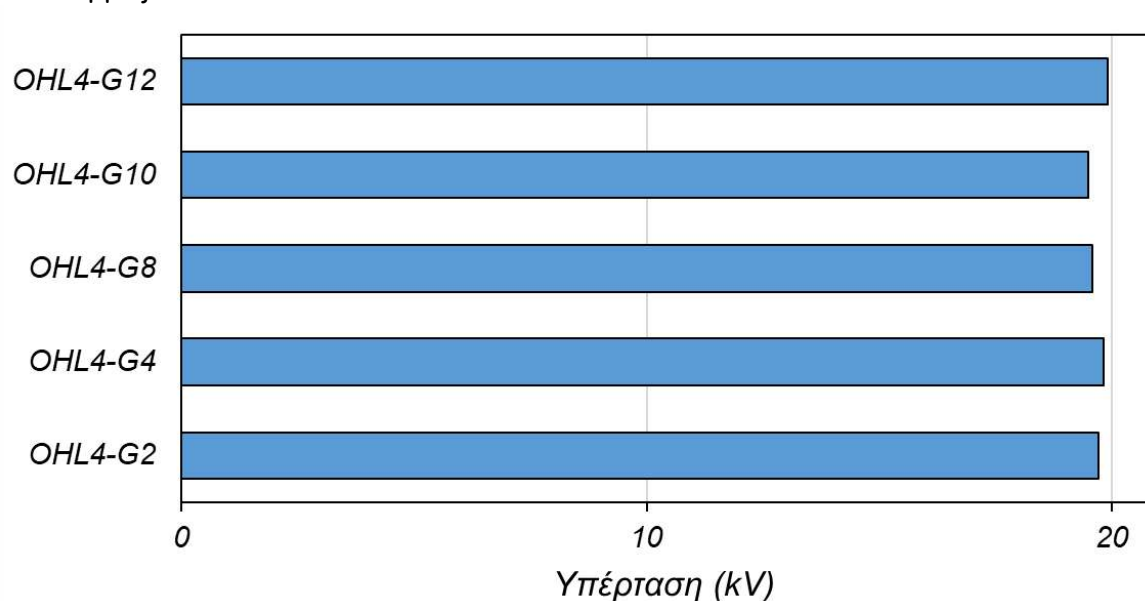
Εικόνα 73: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

- Κόμβος G



Εικόνα 74: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

- Κόμβος G



Εικόνα 75: Τιμές κορυφής των υπερτάσεων για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

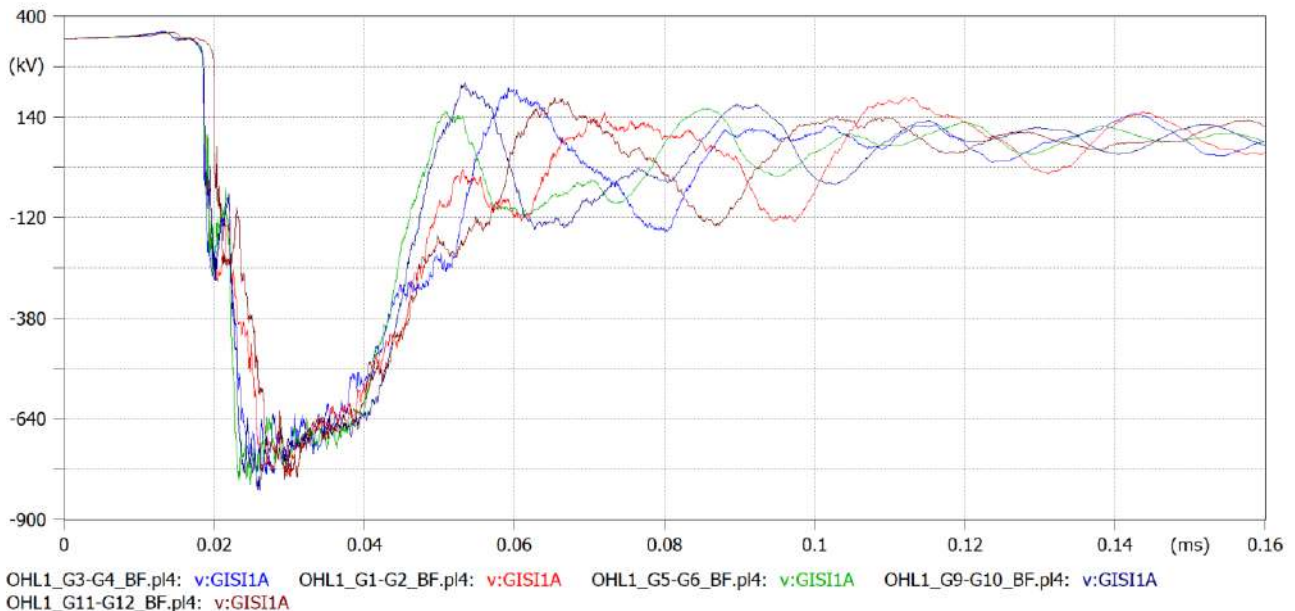
Από τα παραπάνω γραφήματα μπορεί να παρατηρηθεί ότι η μεγαλύτερη τιμή κορυφής στους κόμβους GIS1 και GIS0 αντιστοιχεί στις γεννήτριες G7, G8, οι οποίες έχουν τα μικρότερα καλώδια ισχύος (250 m), ενώ για τον Μ/Σ στις γεννήτριες G5, G6 (400 m καλώδια). Ο ακριβής λόγος είναι δύσκολο να βρεθεί λόγω πολυπλοκότητας του συστήματος. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι μάλλον οφείλεται σε συνδυασμό ανακλάσεων και θέσεις εκτροπών υπέρτασης σε σχέση με το σημείο ενδιαφέροντος.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

4.1.2 Μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με δύο γεννήτριες

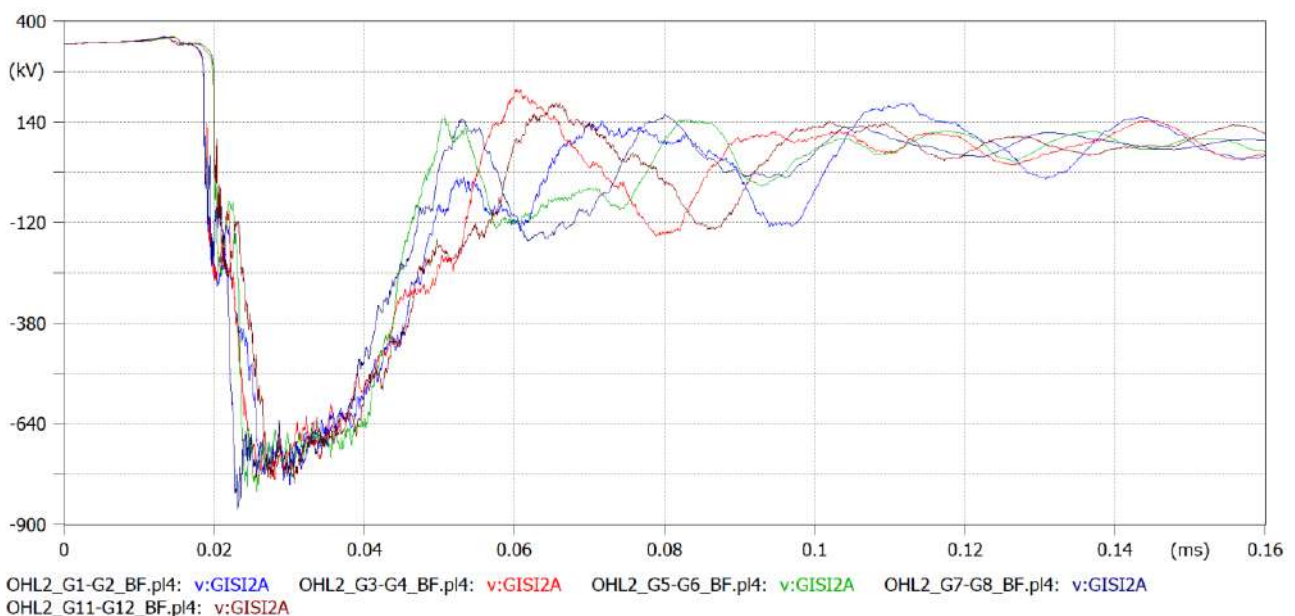
Τα σχέδια των «διαδρομών» από τις εναέριες γραμμές μεταφοράς μέχρι τις γεννήτριες είναι ίδια με παραπάνω και επομένως δεν επαναλαμβάνονται εδώ. Οι κυματομορφές για τα σημεία υψηλής τάσης στον πρώτο κόμβο, είναι οι εξής:

- Για την OHL1:



Εικόνα 76: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

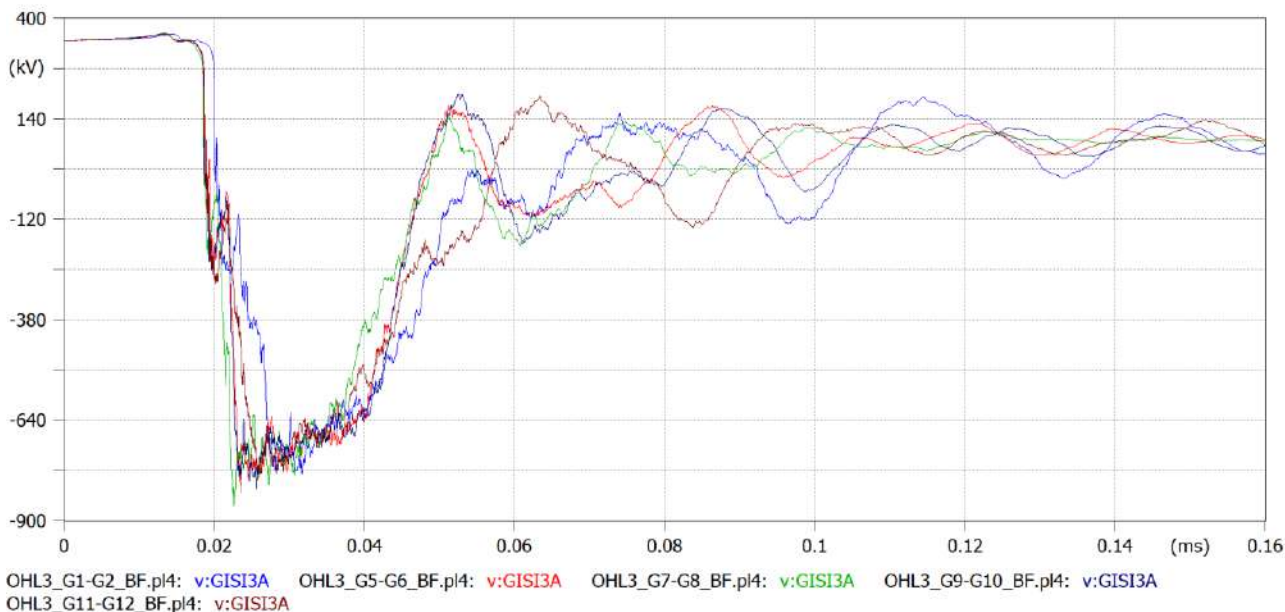
- Για την OHL2:



Εικόνα 77: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

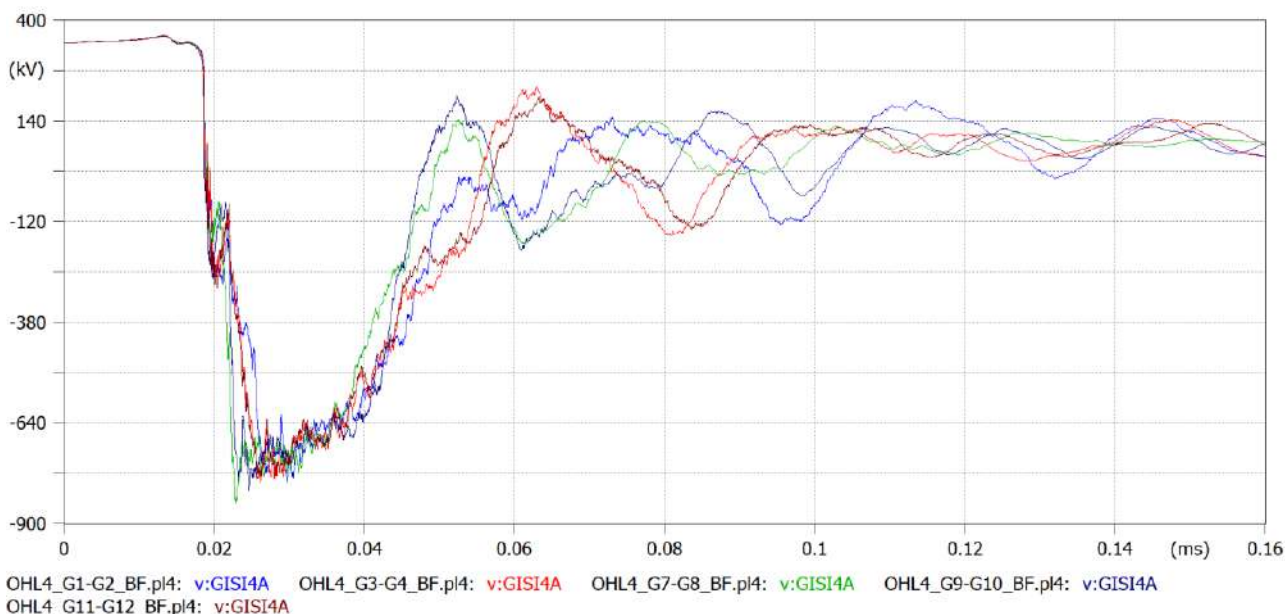
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

• Για την OHL3:



Εικόνα 78: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

• Για την OHL4:



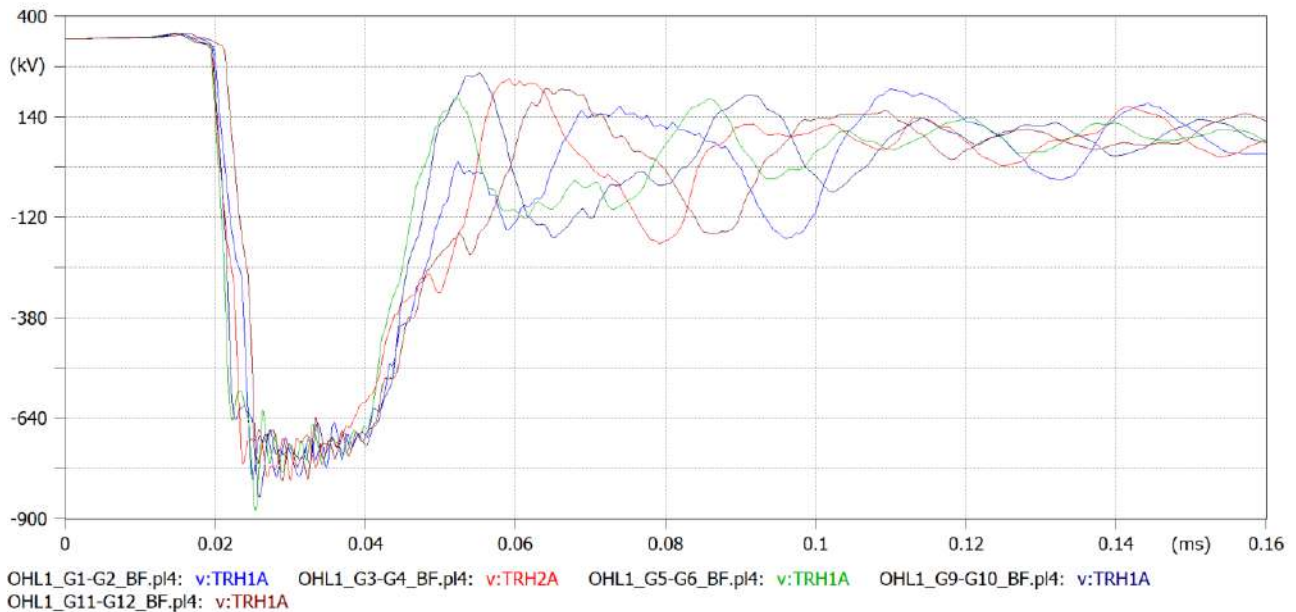
Εικόνα 79: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Η μορφή των κυματομορφών δεν έχει αλλάξει σε σχέση με την περίπτωση της μίας γεννήτριας. Το ίδιο ισχύει και για τις κυματομορφές στην πλευρά υψηλής τάσης του ΜΣ που φαίνονται παρακάτω.

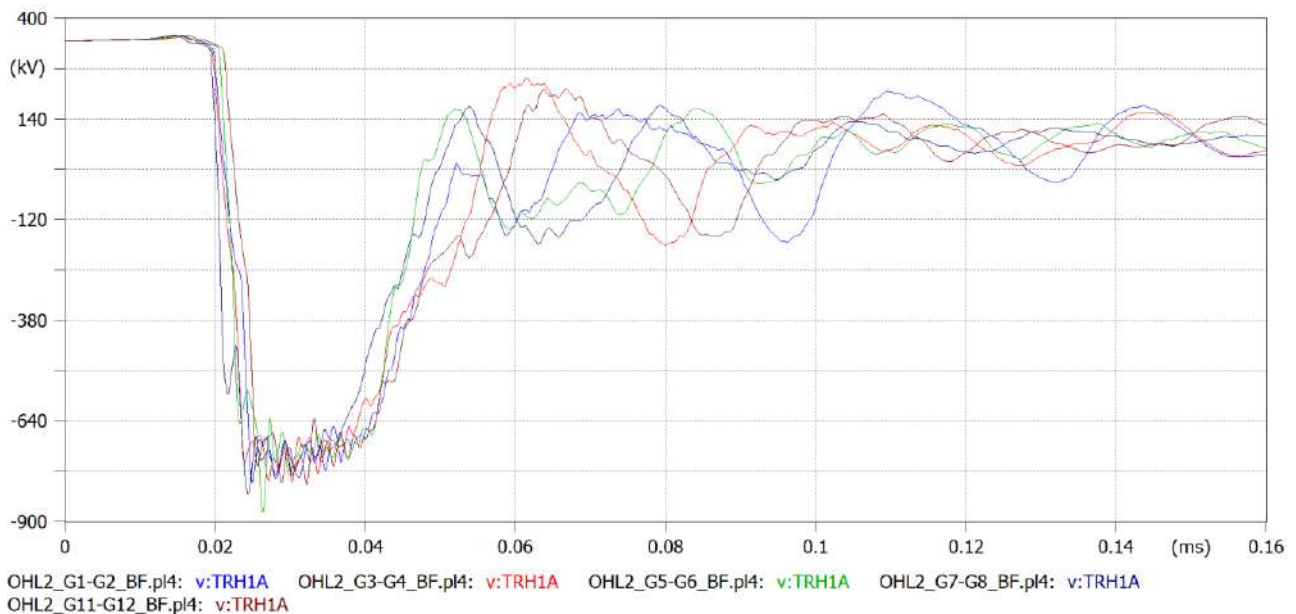
➤ Για τον κόμβο του Μ/Σ

• Για την OHL1



Εικόνα 80: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

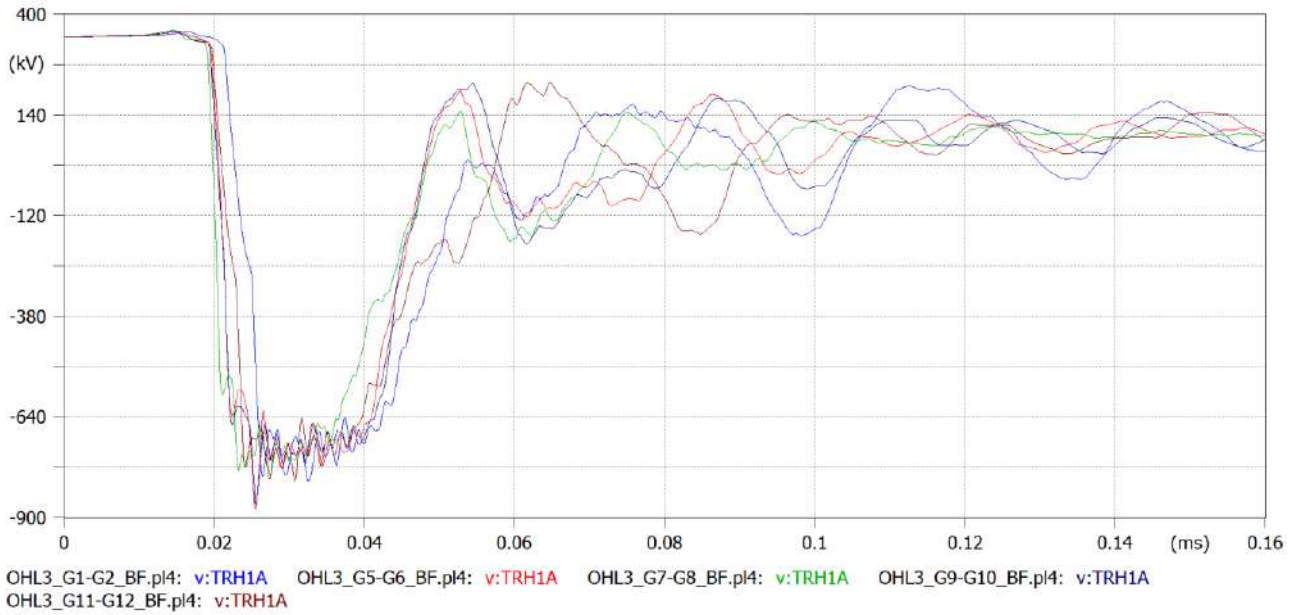
• Για την OHL2



Εικόνα 81: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

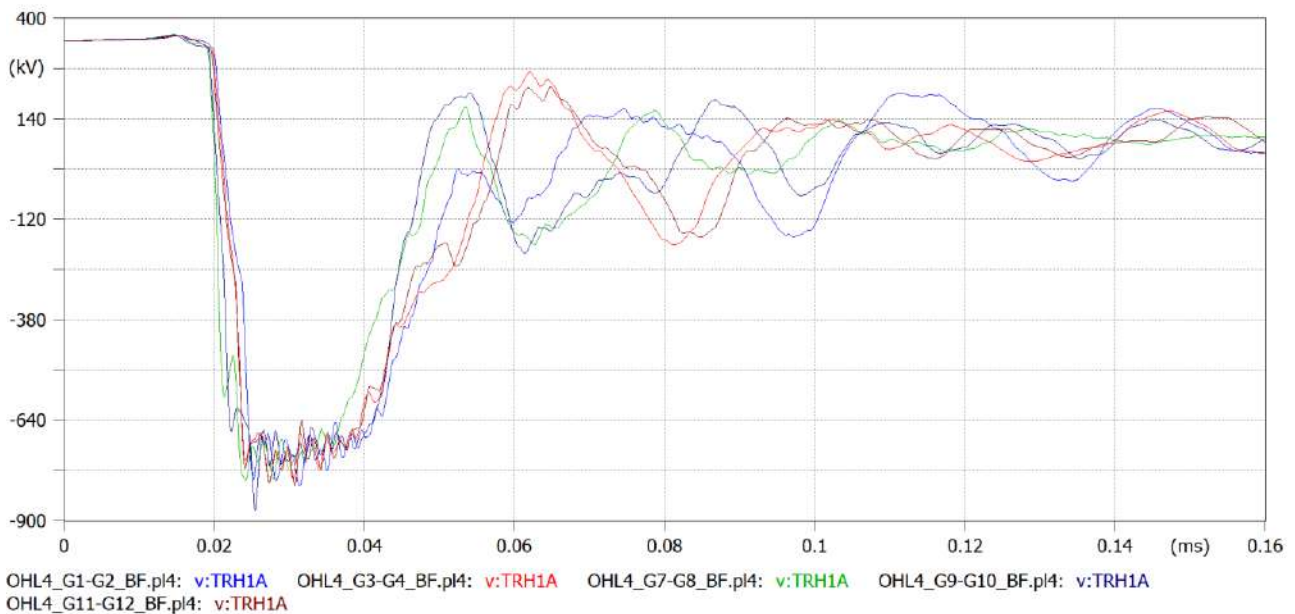
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

• Για την OHL3



Εικόνα 82: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

• Για την OHL4

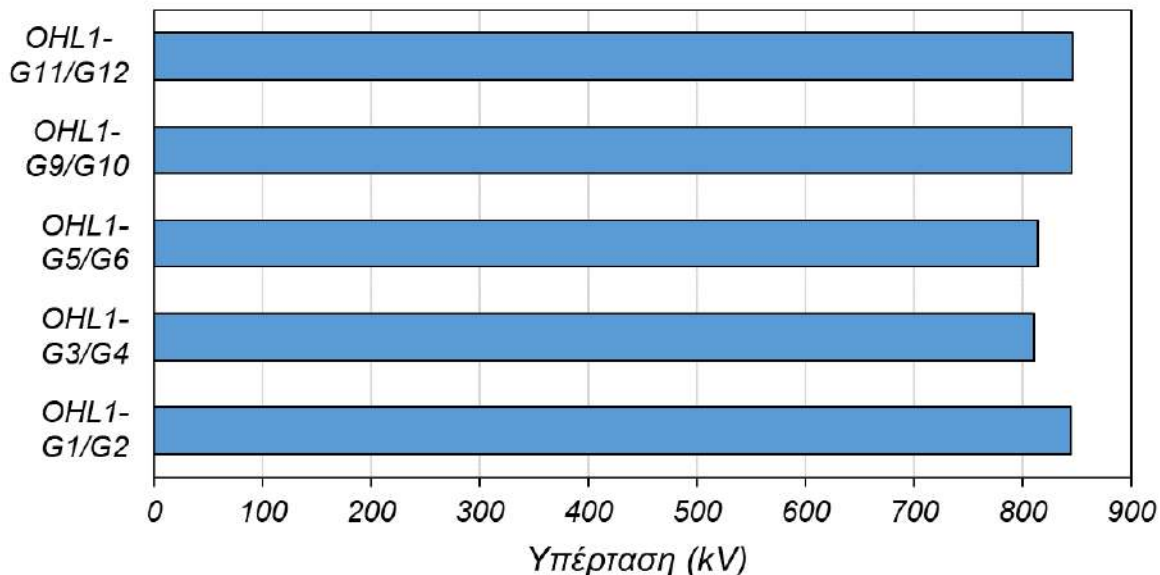


Εικόνα 83: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

Από τις παραπάνω κυματομορφές συγκεντρώθηκαν και πάλι οι τιμές κορυφής και συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Στη συνέχεια παρατίθενται τα ραβδογράμματα στα σημεία του κάθε κόμβου υψηλής τάσης που εξετάστηκε.

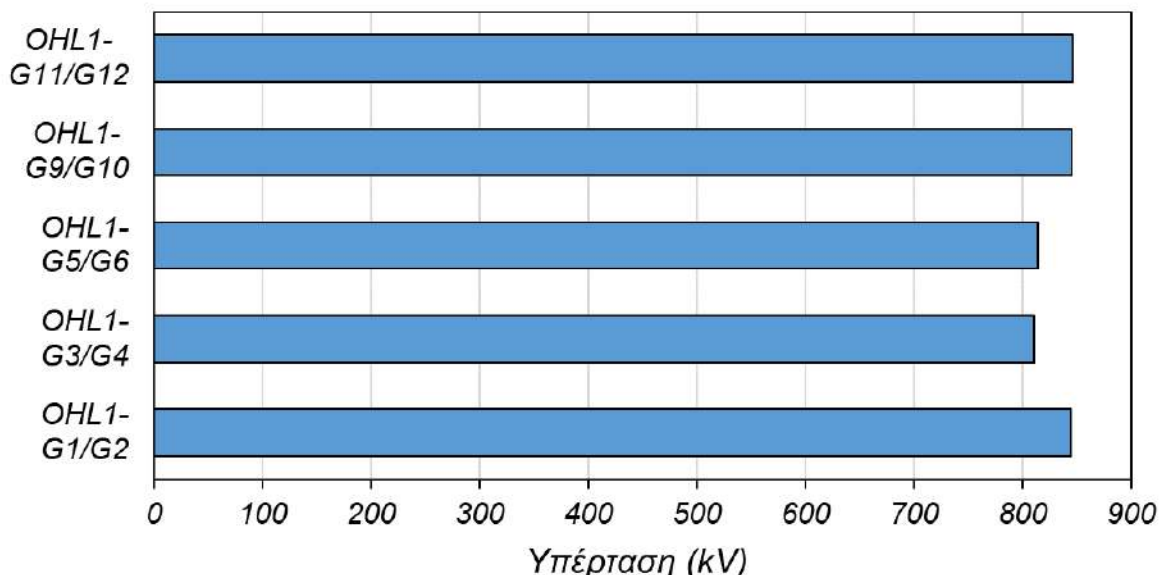
➤ Για την OHL1:

• Κόμβος GISI1



Εικόνα 84: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην είσοδο του υποσταθμού. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

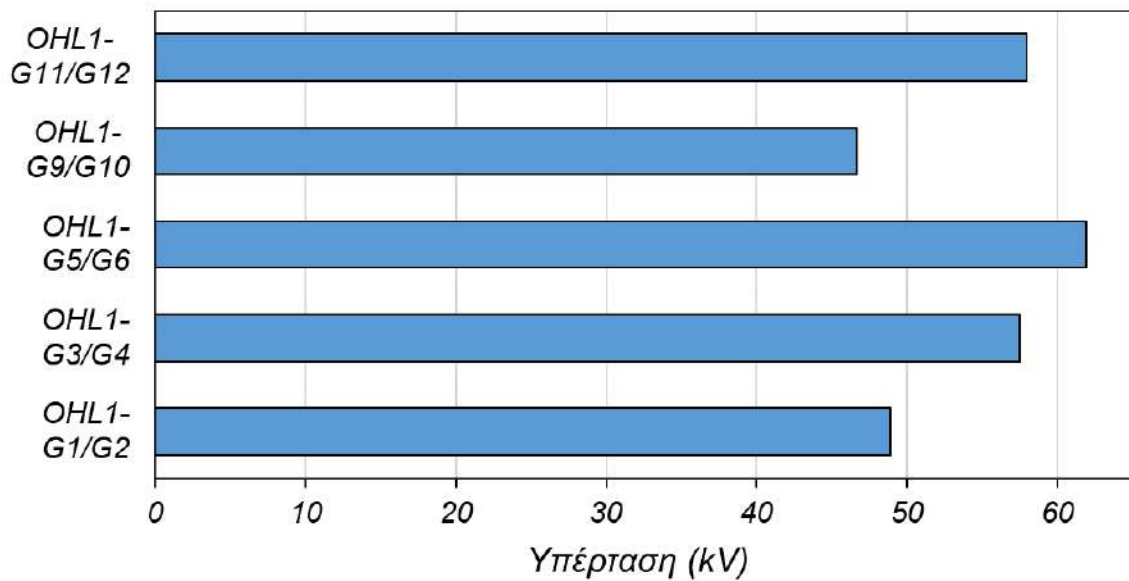
• Κόμβος GISO1



Εικόνα 85: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

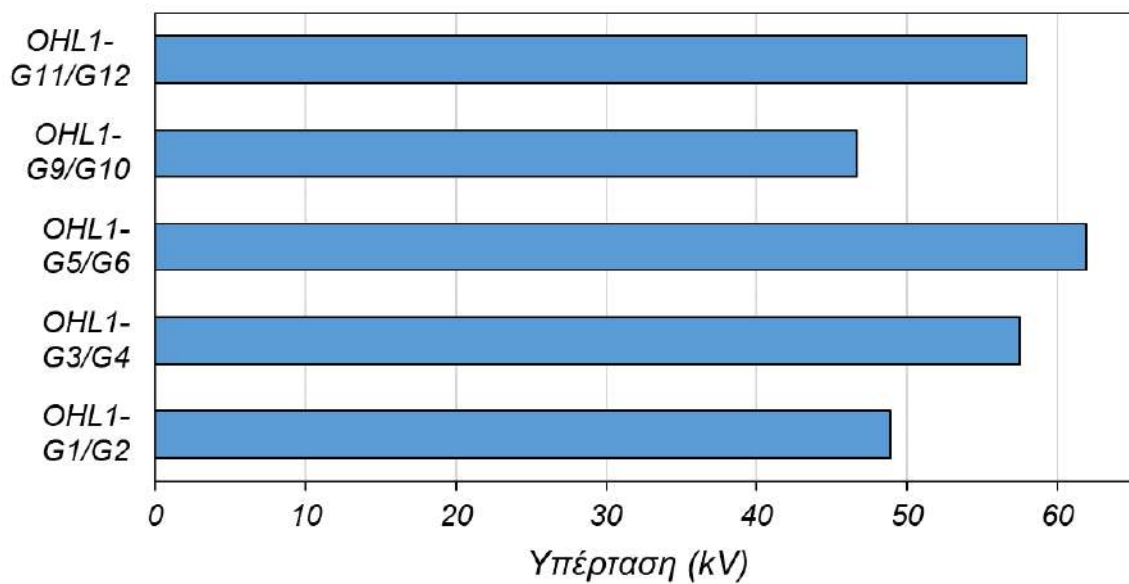
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



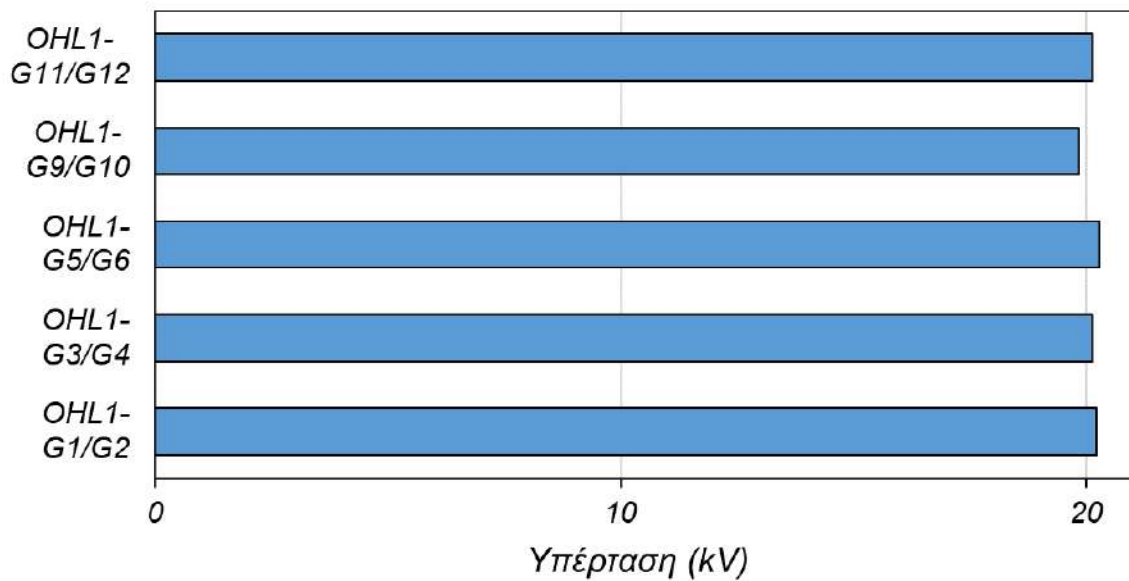
Εικόνα 86: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του μετασχηματιστή. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος TRL12



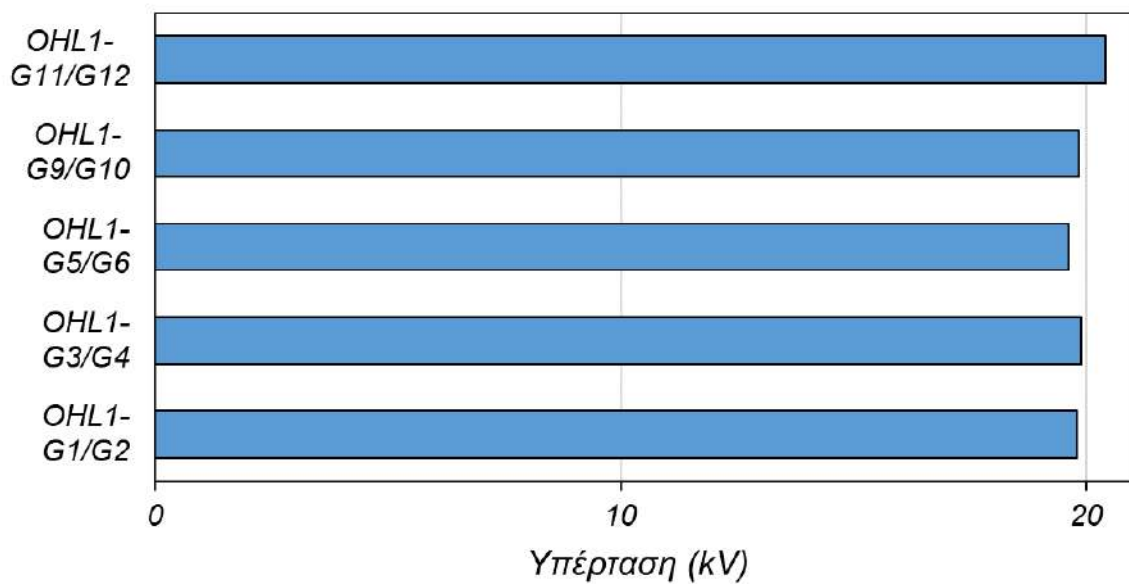
Εικόνα 87: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά χαμηλής του μετασχηματιστή. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

- **Κόμβος G1**



Εικόνα 88: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

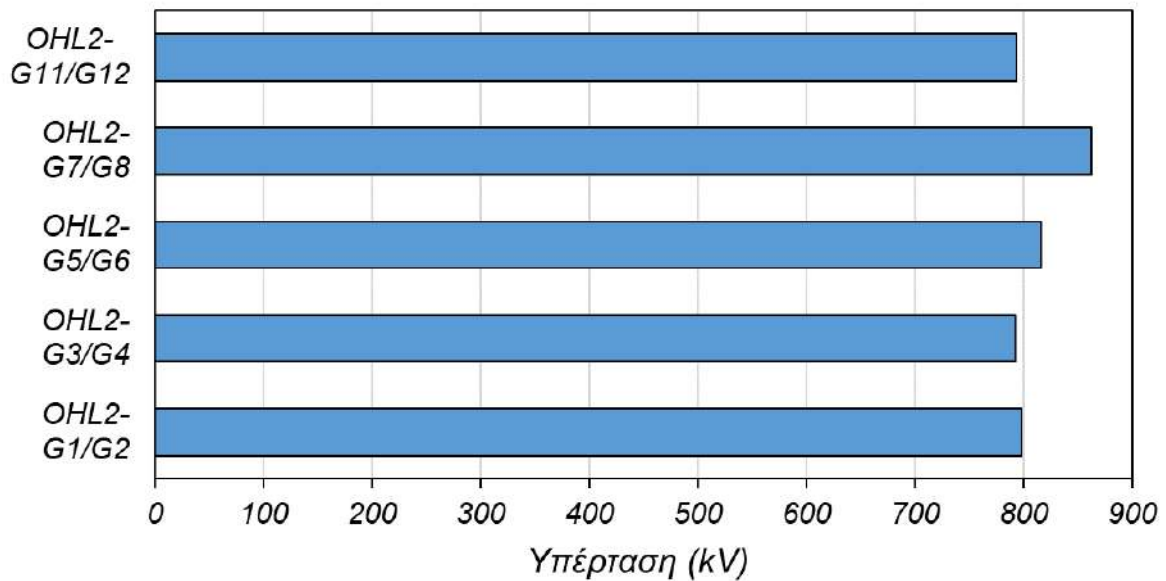
- **Κόμβος G**



Εικόνα 89: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

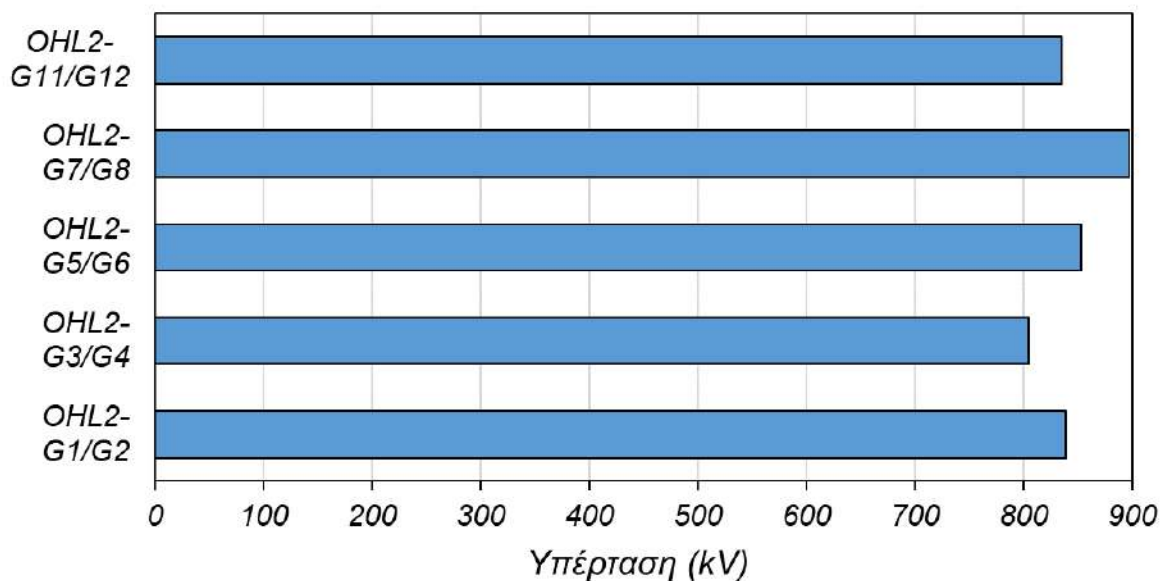
➤ Για την OHL2:

• Κόμβος GISI1



Εικόνα 90: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην είσοδο του υποσταθμού. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

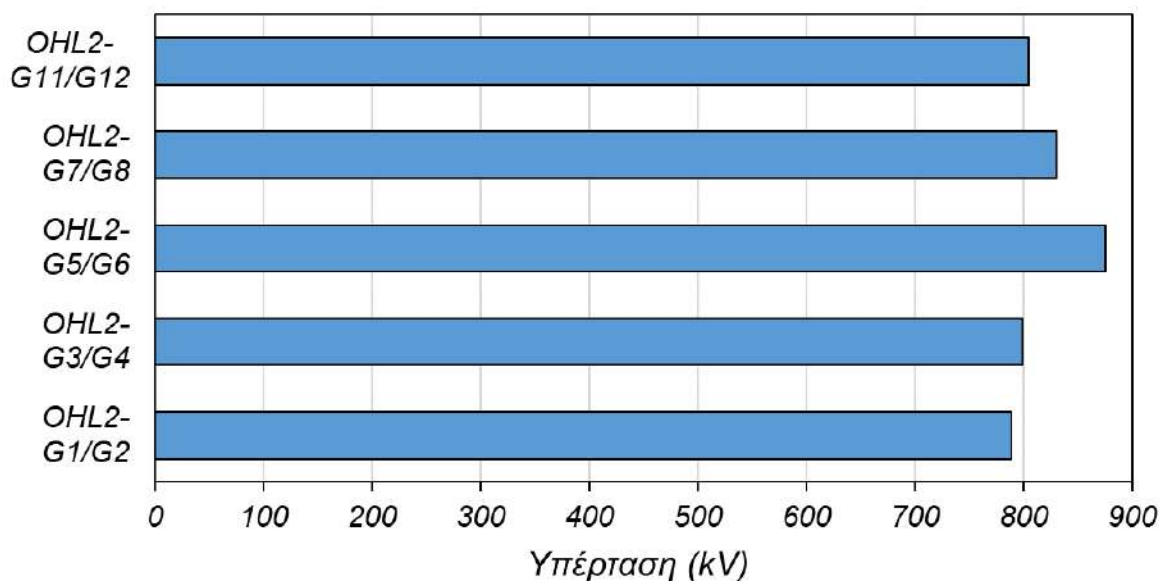
• Κόμβος GISI1



Εικόνα 91: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

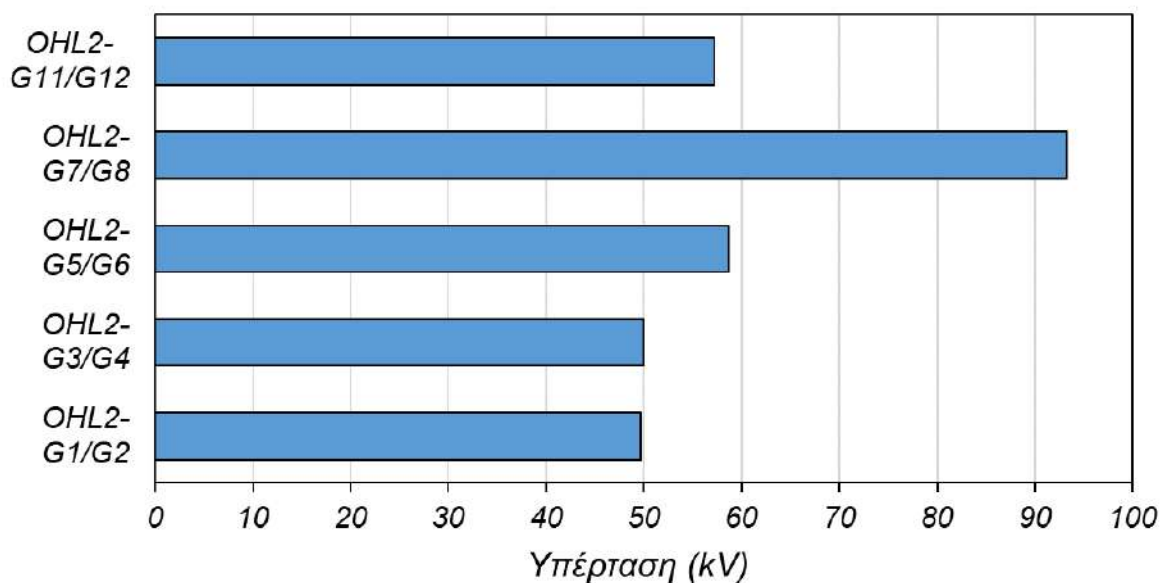
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



Εικόνα 92: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του μετασχηματιστή. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς ΟΗΛ2 με δύο γεννήτριες

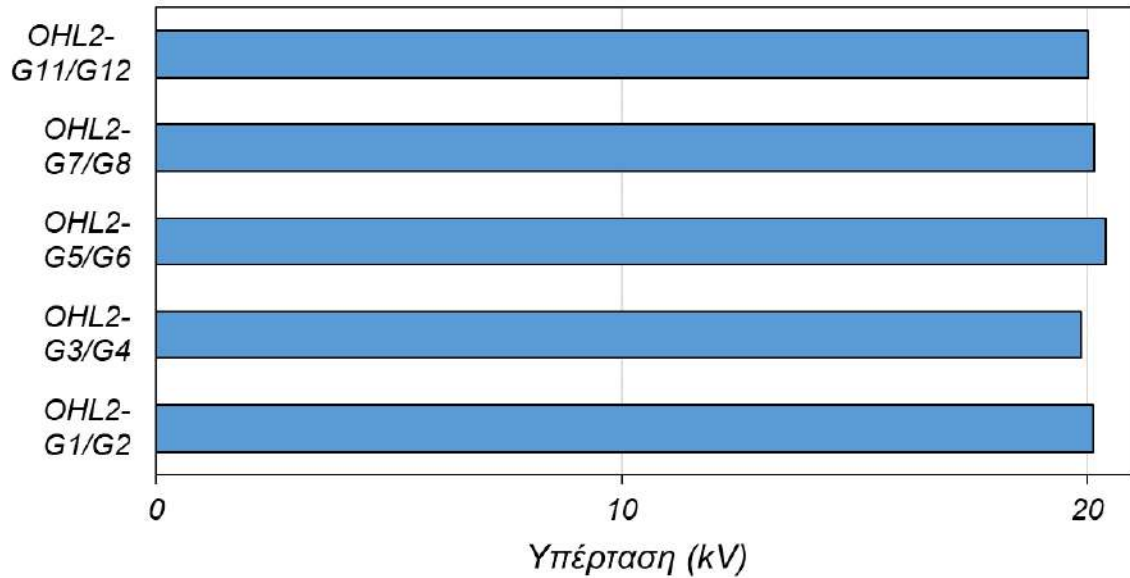
- Κόμβος TRL12



Εικόνα 93: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του μετασχηματιστή. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς ΟΗΛ2 με δύο γεννήτριες

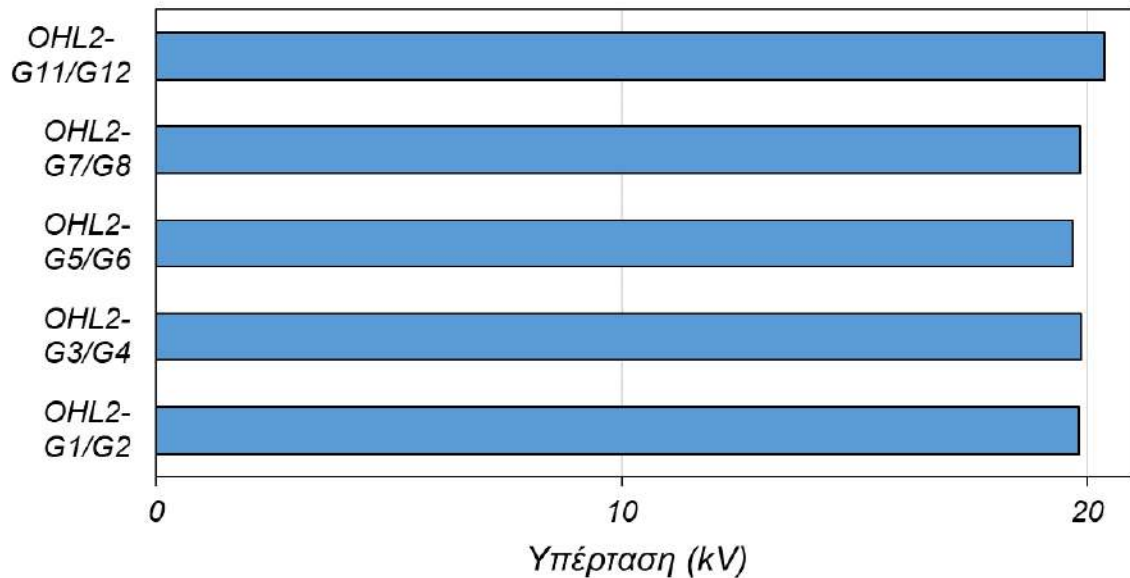
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος G



Εικόνα 94: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G1. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

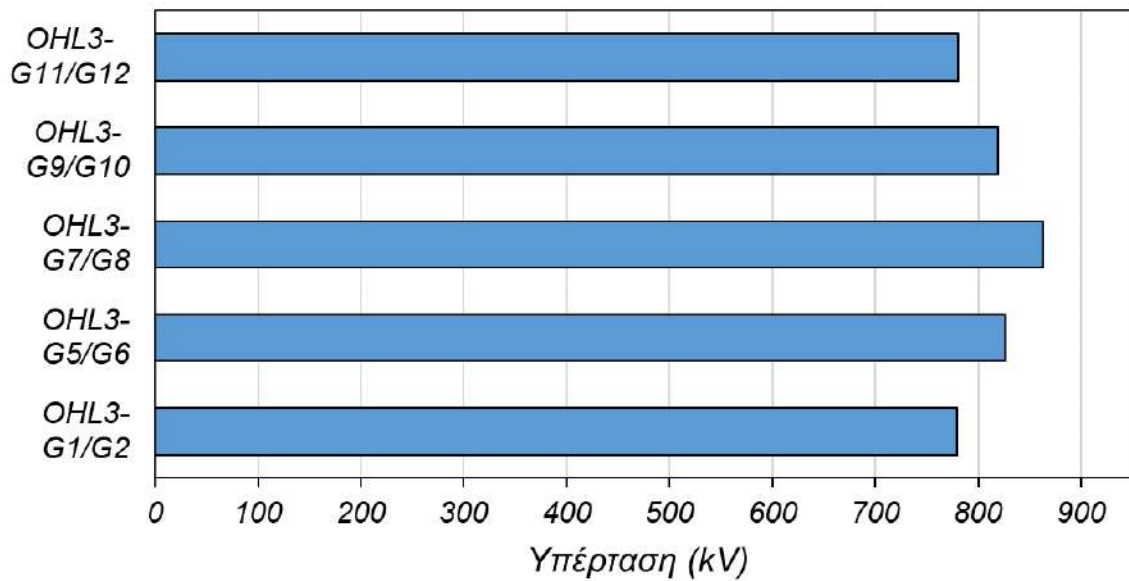
- Κόμβος G



Εικόνα 95: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G2. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

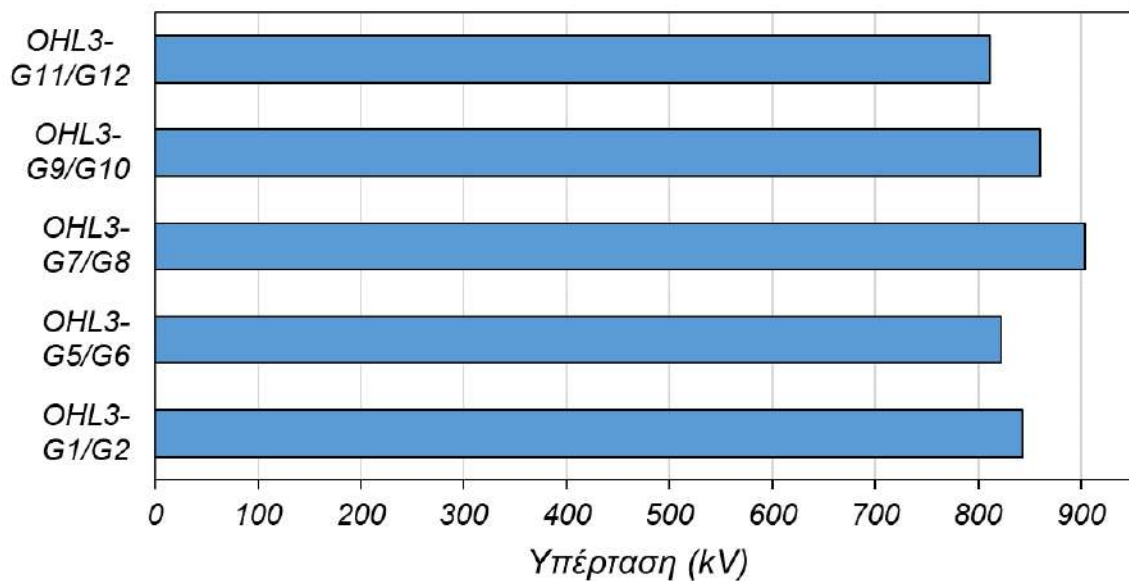
➤ Για την OHL3:

• Κόμβος GISI1



Εικόνα 96: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην είσοδο του υποσταθμού. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

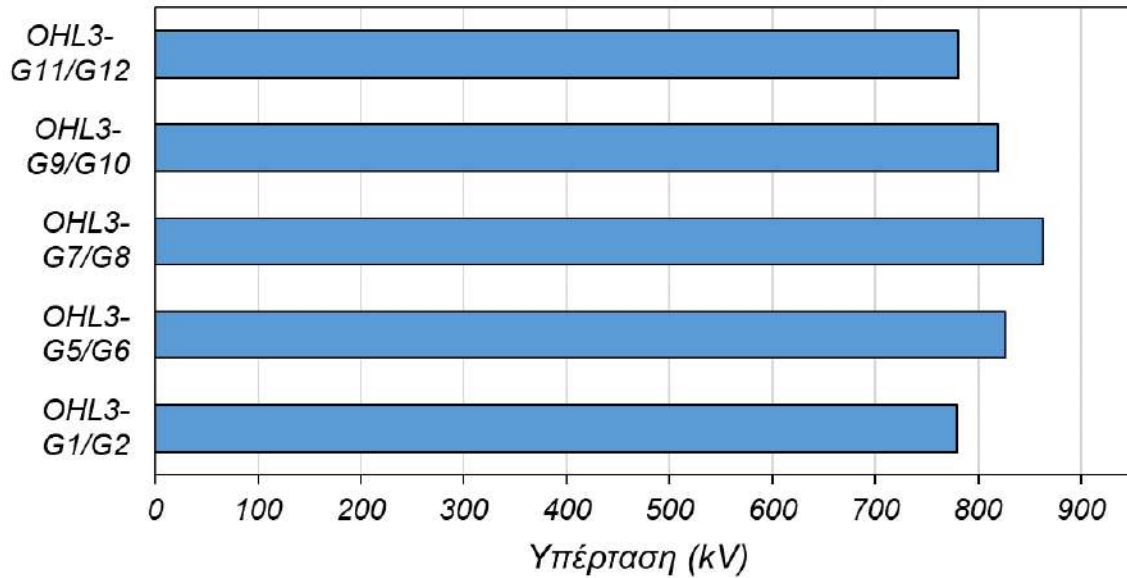
• Κόμβος GISO1



Εικόνα 97: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

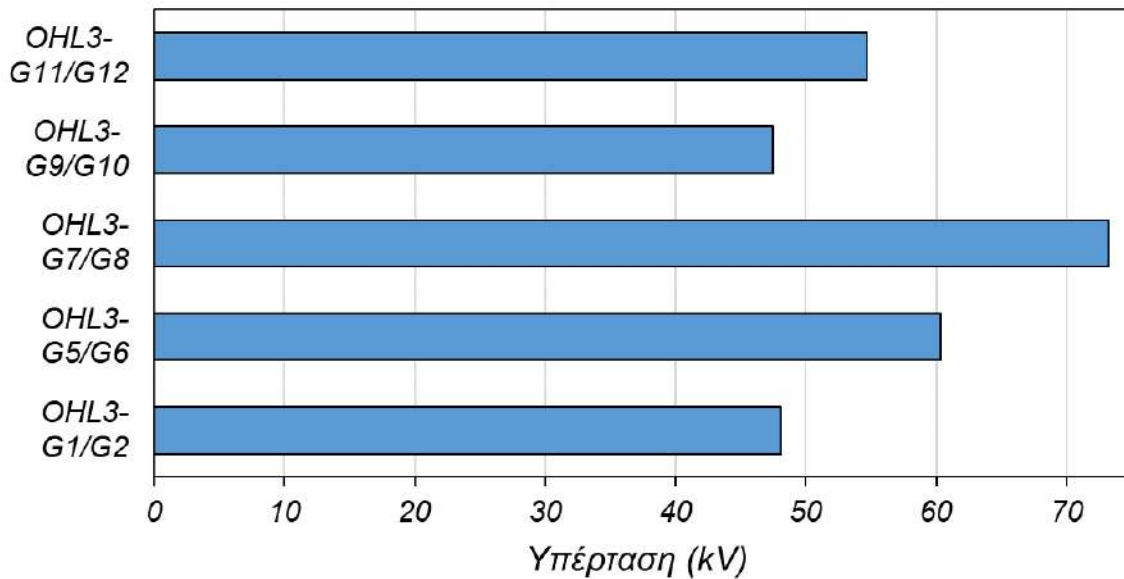
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



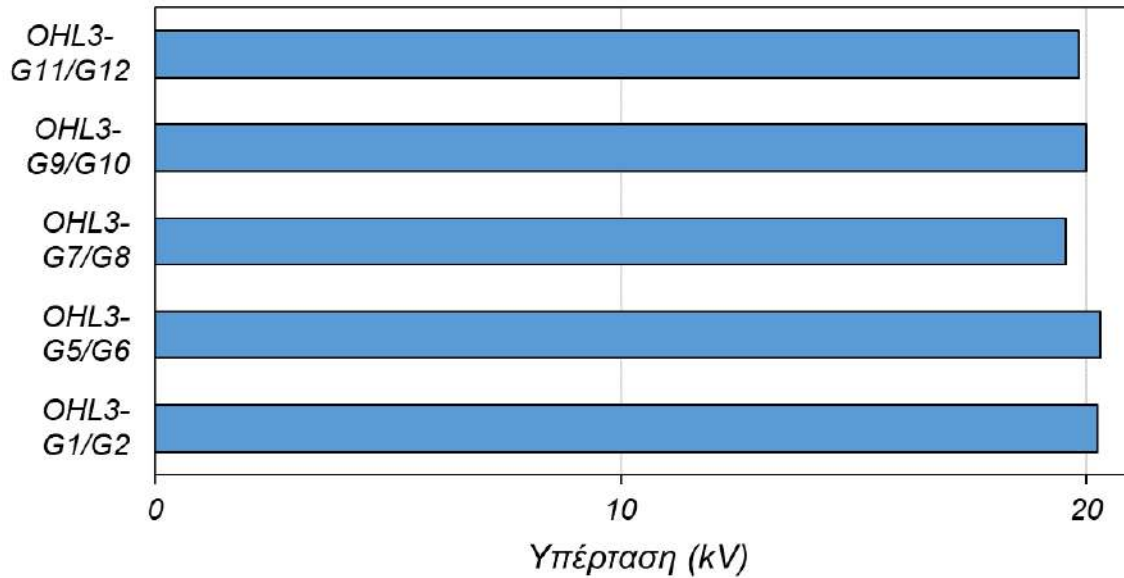
Εικόνα 98: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του μετασχηματιστή. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος TRL12



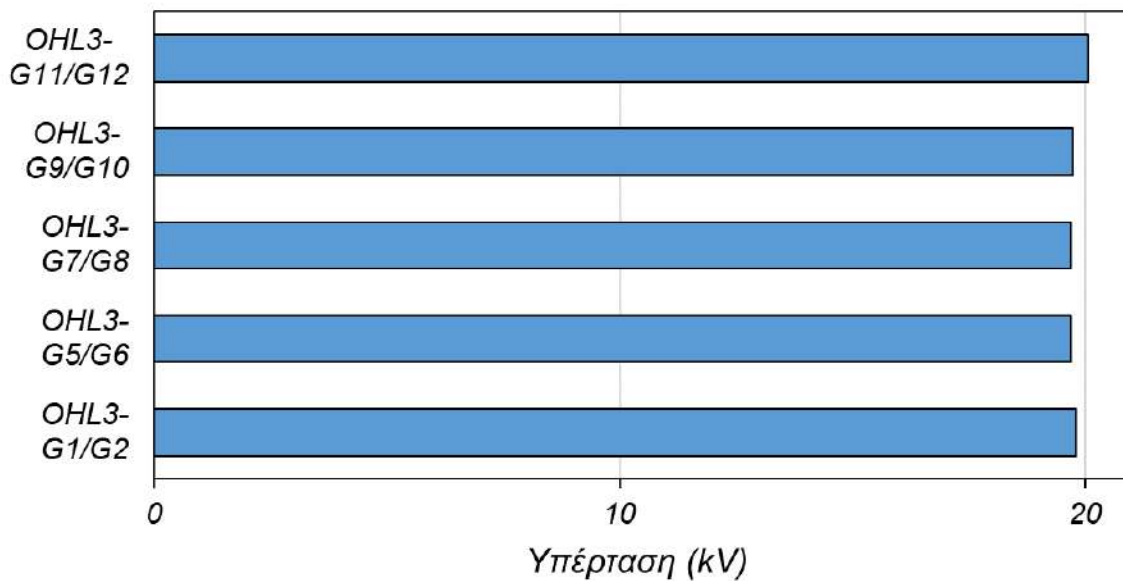
Εικόνα 99: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του μετασχηματιστή. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος G



Εικόνα 100: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

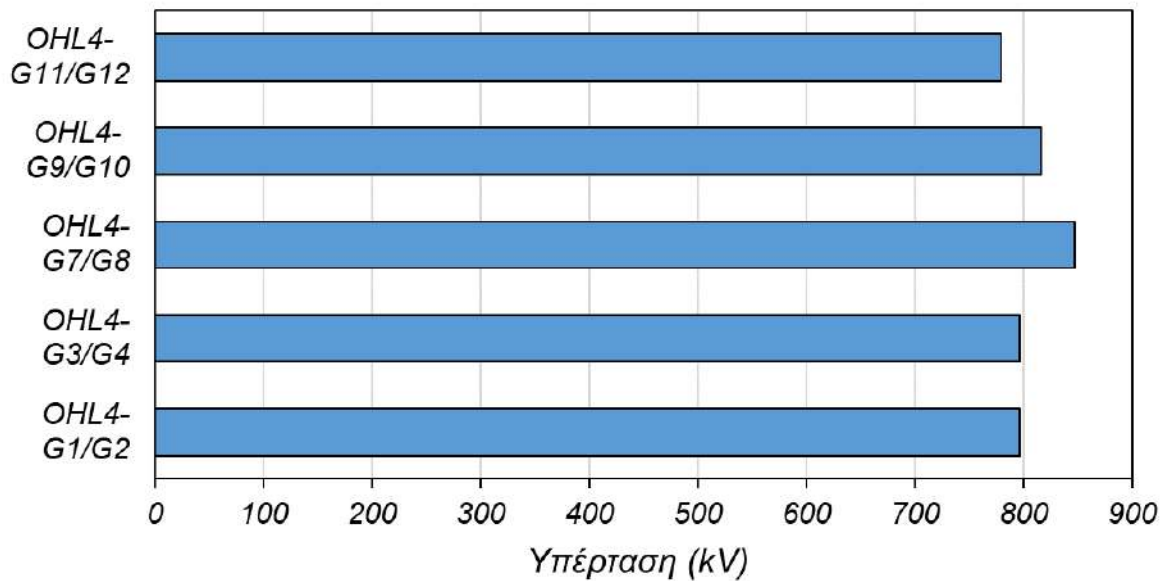
- Κόμβος G



Εικόνα 101: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

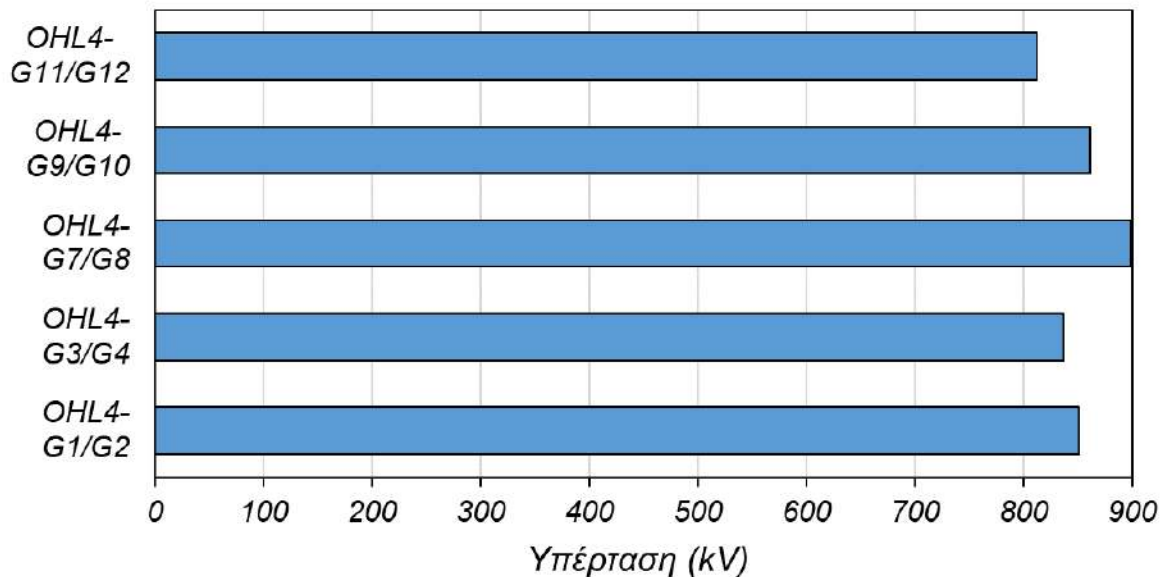
➤ Για την OHL4:

• Κόμβος GISI1



Εικόνα 102: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην είσοδο του υποσταθμού. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

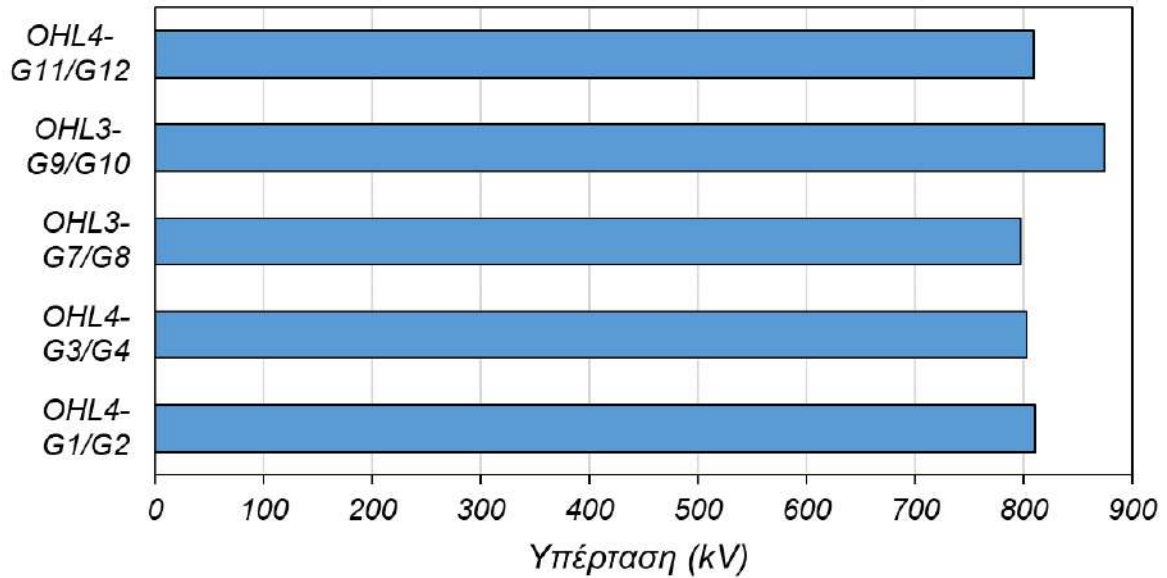
• Κόμβος GISO1



Εικόνα 103: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

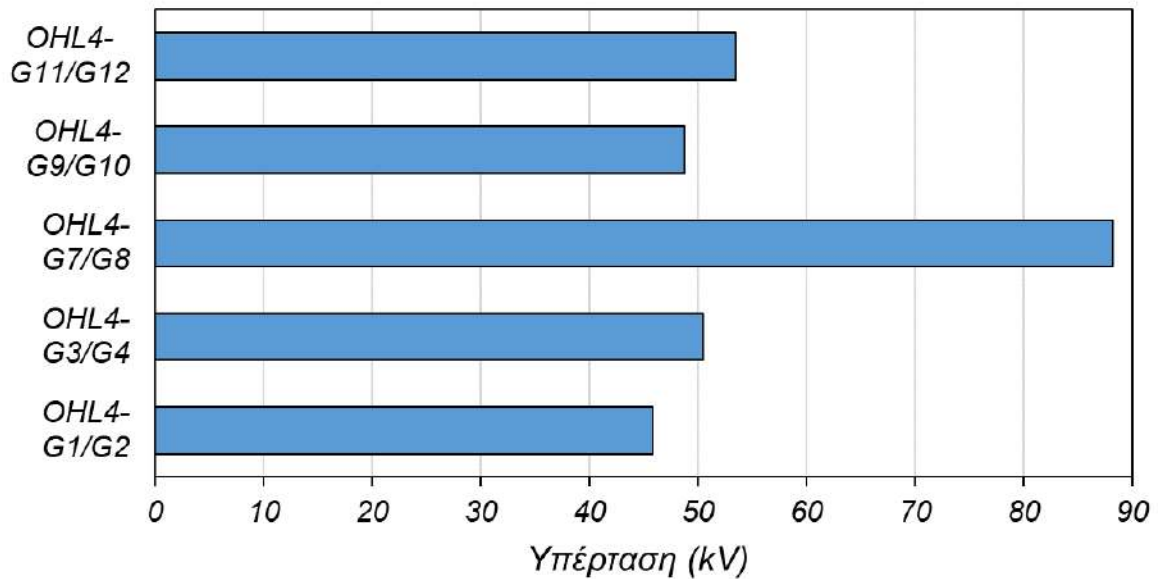
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



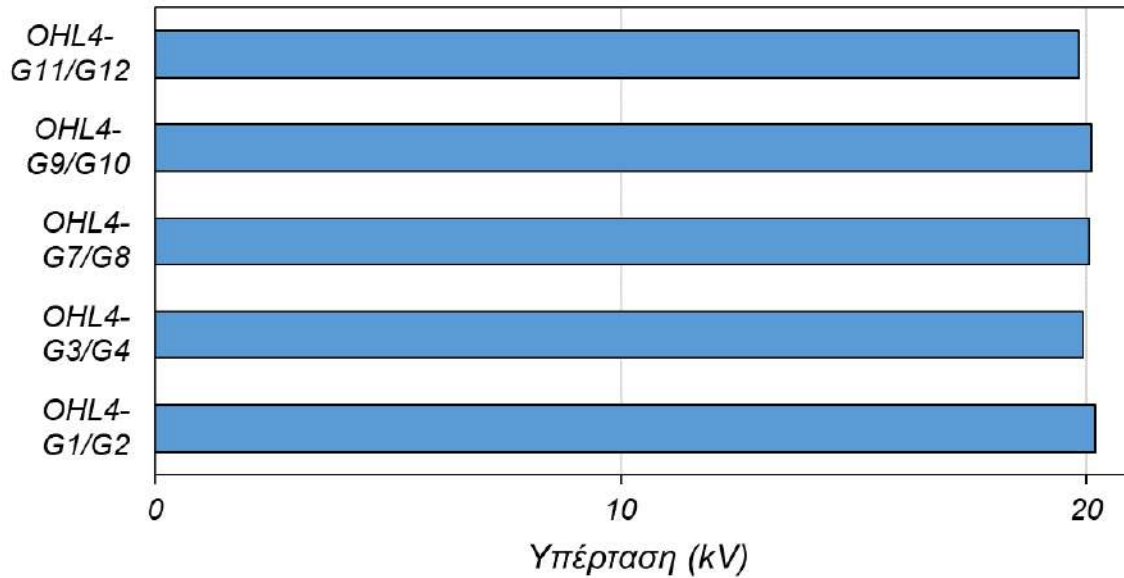
Εικόνα 104: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά υψηλής του μετασχηματιστή. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος TRL12



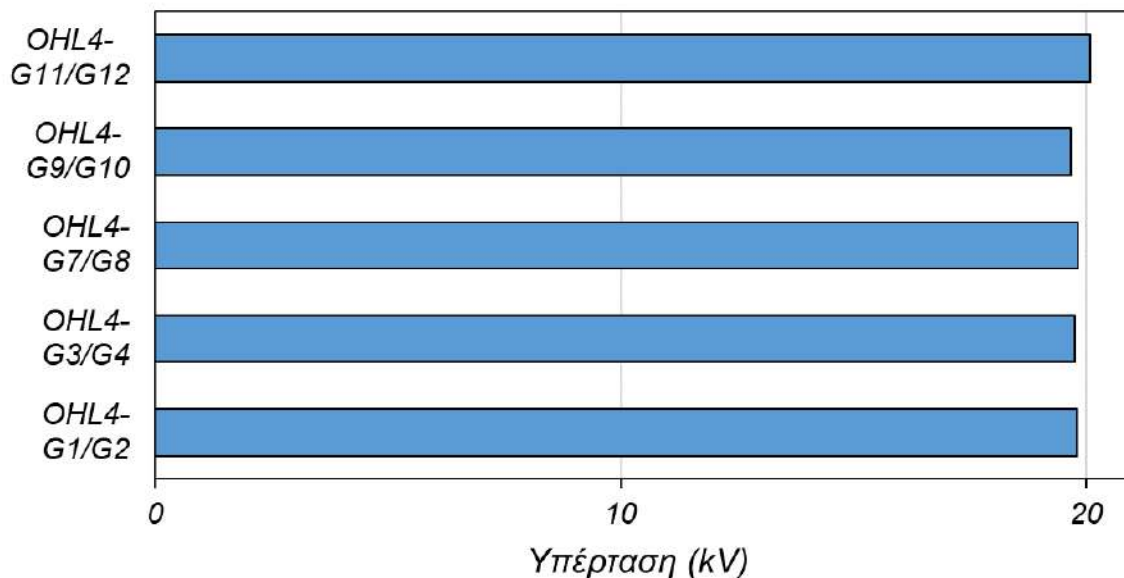
Εικόνα 105: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στην πλευρά χαμηλής του μετασχηματιστή. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος G1



Εικόνα 106: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G1. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς ΟΗΛ4 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος G2



Εικόνα 107: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στον ΜΣ ισχύος για την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης στη γεννήτρια G2. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς ΟΗΛ4 με δύο γεννήτριες

Από τα παραπάνω γραφήματα μπορεί να παρατηρηθεί ότι η μεγαλύτερη τιμή κορυφής στους κόμβους GIS1 και GIS0 αντιστοιχεί με κάποιες εξαιρέσεις στις γεννήτριες G7, G8, οι οποίες έχουν τα μικρότερα καλώδια ισχύος (250 m), ενώ για τον Μ/Σ στις γεννήτριες G5, G6 (400 m καλώδια). Ωστόσο, υπάρχουν διαφοροποιήσεις ιδίως για τη γραμμή μεταφοράς ΟΗΛ1.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

4.2 Κεραυνικό πλήγμα σε αγωγό φάσης

Στην ενότητα αυτήν θα παρουσιαστούν οι κυματομορφές και τα ραβδογράμματα με τις τιμές κορυφής για μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με μία γεννήτρια για κεραυνικό πλήγμα σε αγωγό φάσης.

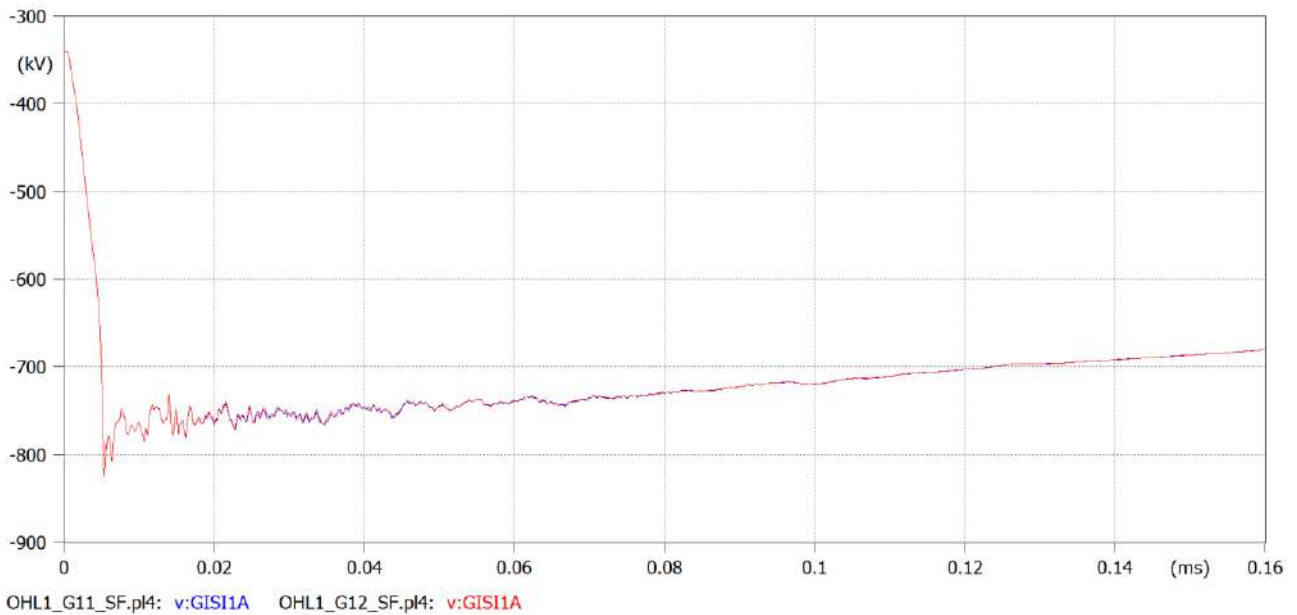
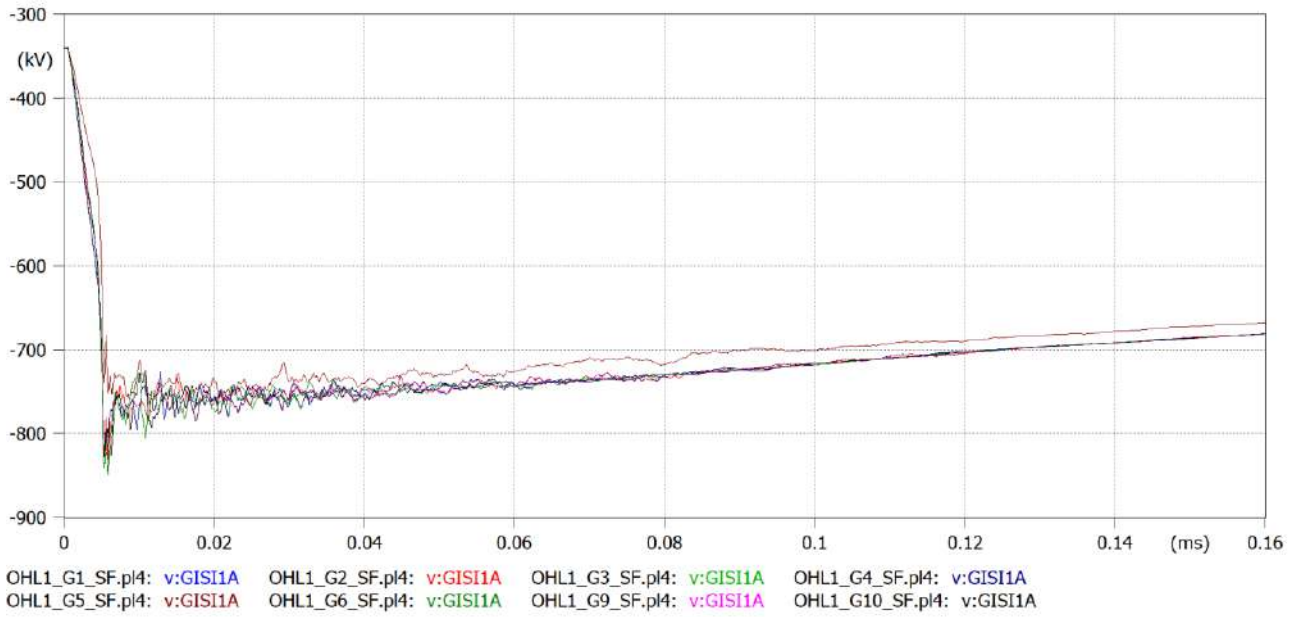
4.2.1 Μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με μία γεννήτρια

Τα μονογραμμικά τα οποία αποτυπώνουν τη «διαδρομή» από την γραμμή μεταφοράς μέχρι τα ζεύγη των γεννητριών είναι ίδια με την ενότητα 4.1 και δεν παρουσιάζονται εκ νέου. Ακολουθούν οι υπερτάσεις για τον κόμβο εισόδου του GIS (GIS1).

➤ Για τον κόμβο GIS1

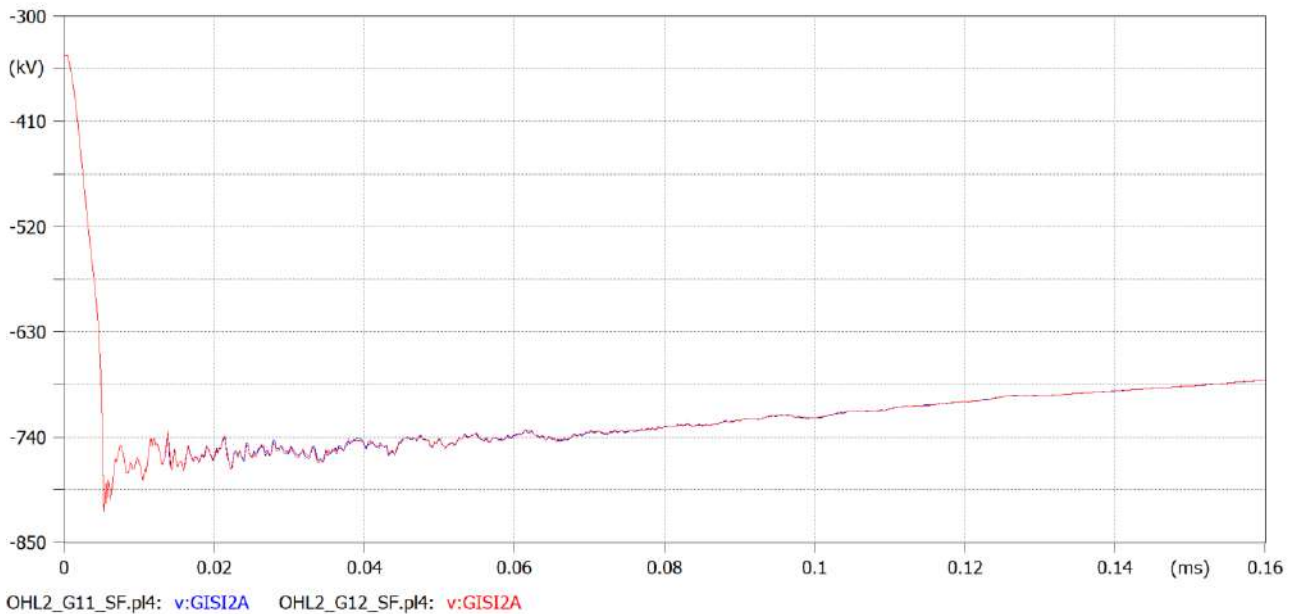
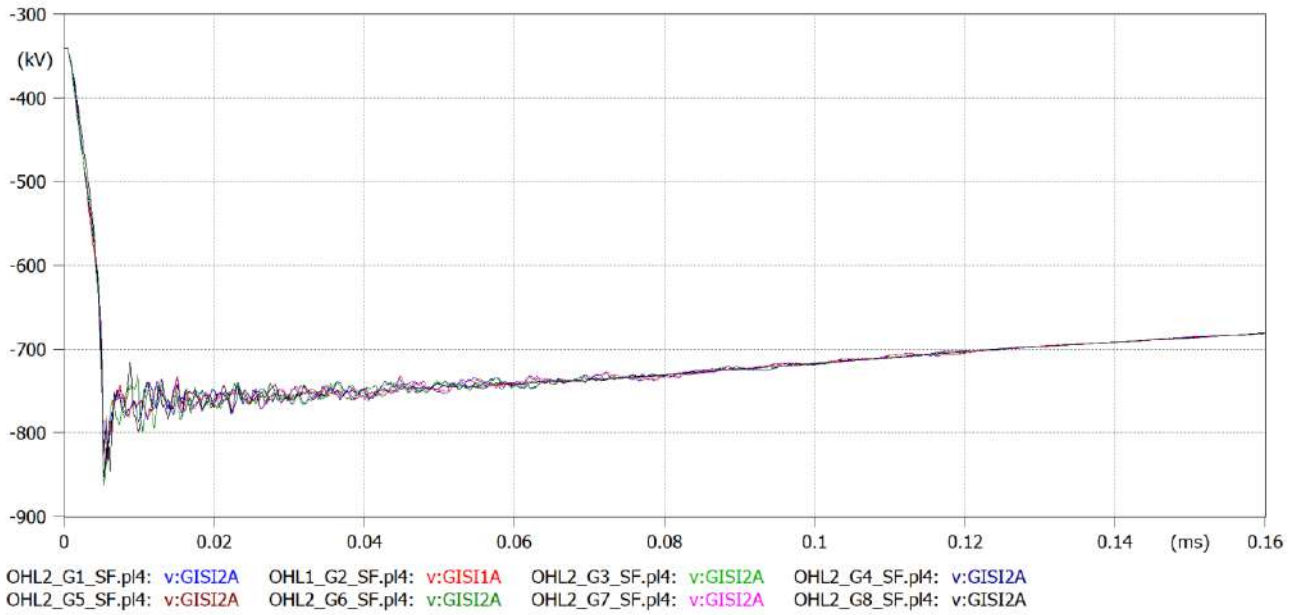
- Για την OHL1**

Από τις κυματομορφές της Εικόνας 108 είναι εμφανές ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στη μορφή σε σχέση με την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης (backflashover) της προηγούμενης υποενότητας. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός ότι ολόκληρο το κεραυνικό ρεύμα οδεύει στην περίπτωση του σφάλματος θωράκισης προς τον υποσταθμό, καθώς ο κεραυνός πλήττει αγωγό φάσης και στην περίπτωση που εξετάζεται δεν συμβαίνει διάσπαση της μόνωσης της γραμμής (φάση προς γη). Οι κυματομορφές των υπερτάσεων του σφάλματος θωράκισης αναμένεται να καταπονήσουν περισσότερο τις μονώσεις λόγω της διατήρησης υψηλών τιμών τάσης για μεγάλο χρονικό διάστημα σε σχέση με την ανάστροφη διάσπαση. Τα παραπάνω ισχύουν για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.



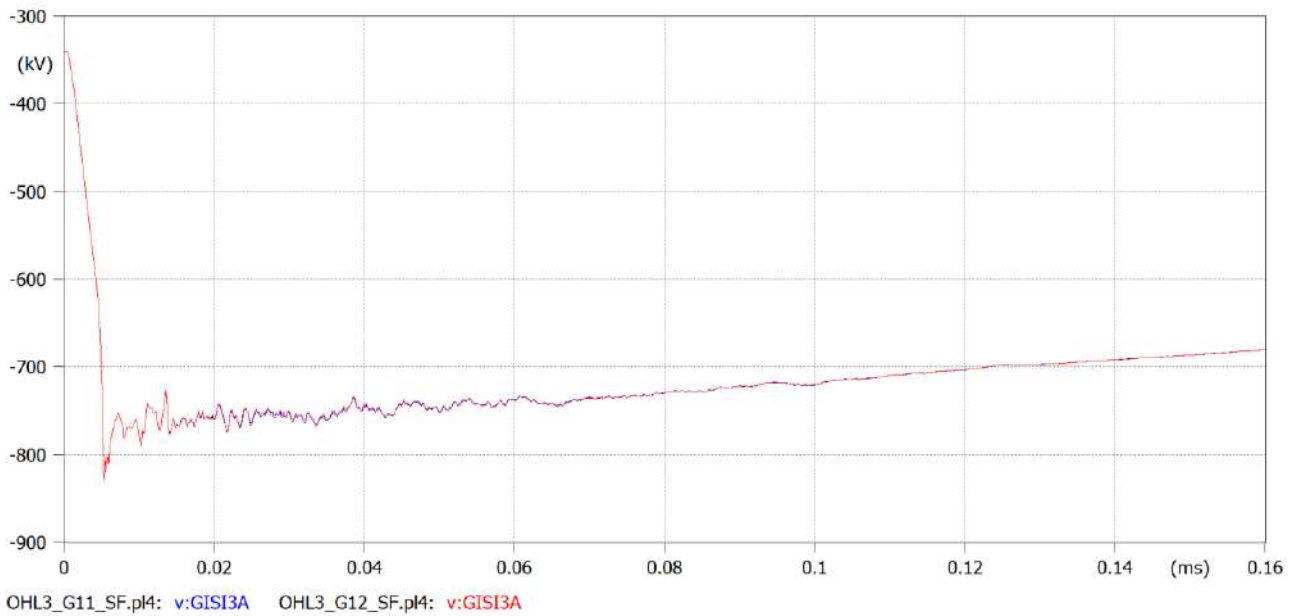
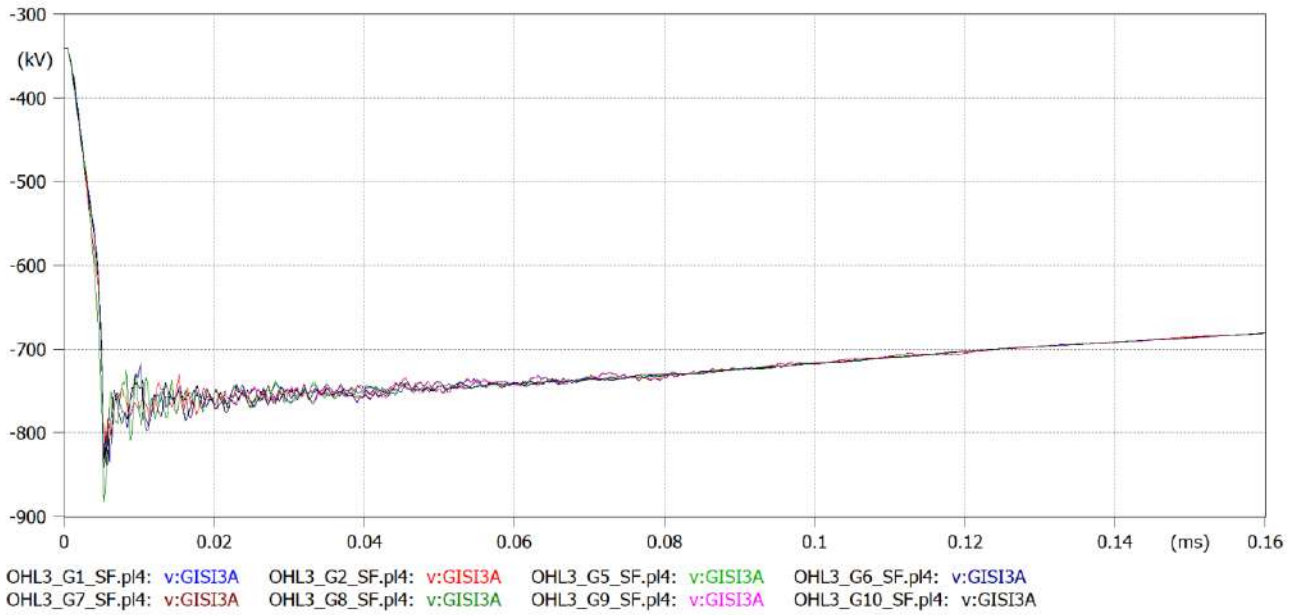
Εικόνα 108: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

- Για την OHL2



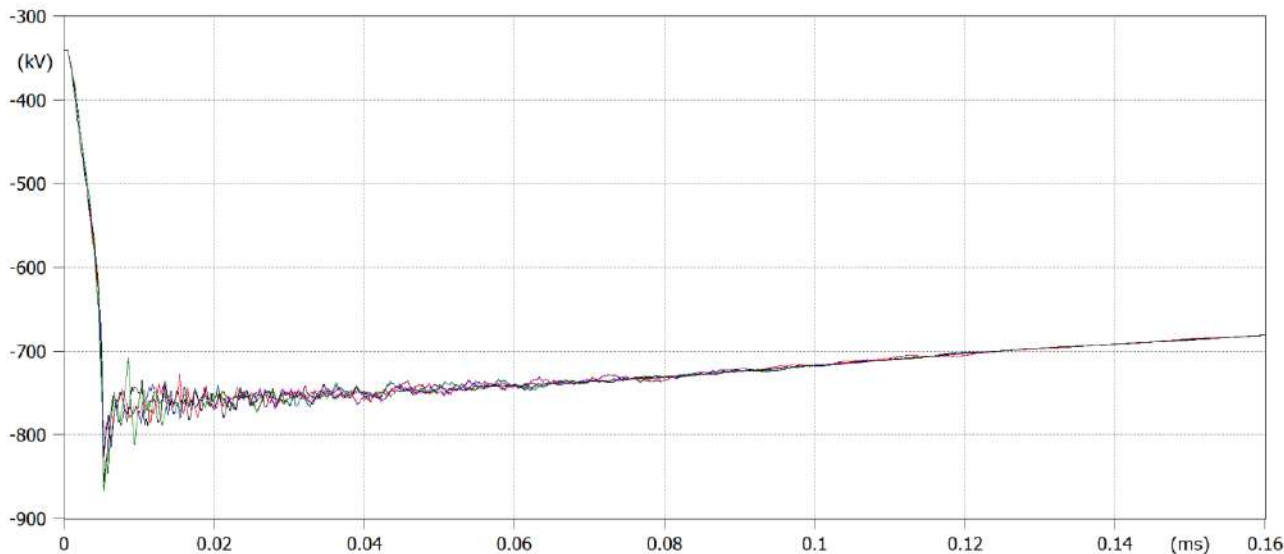
Εικόνα 109: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

- Για την OHL3

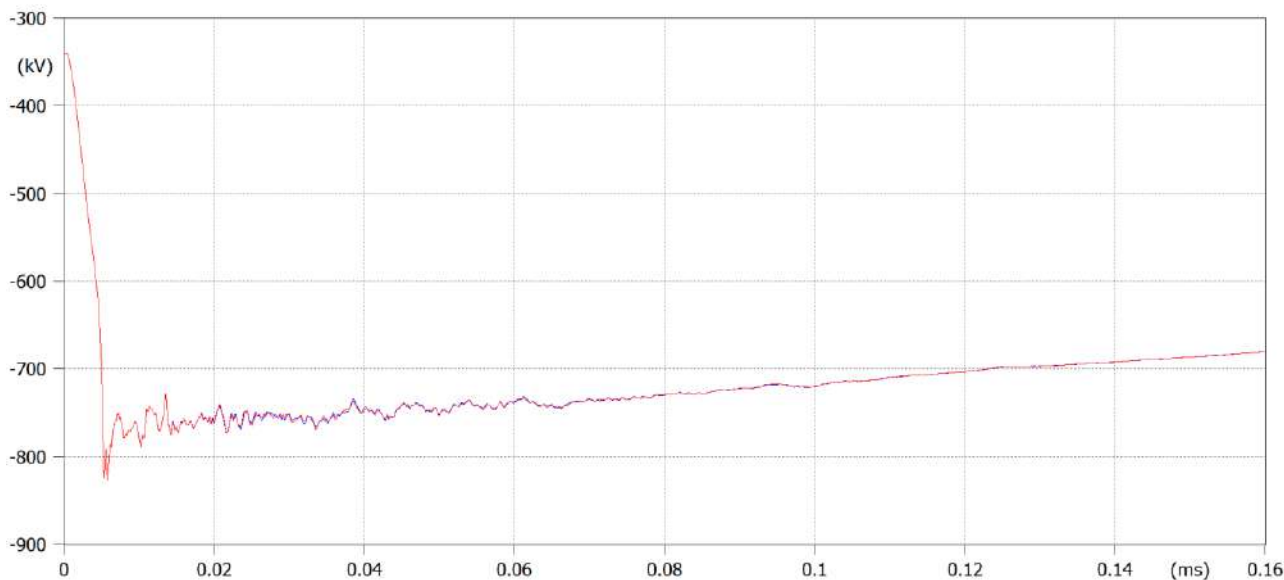


Εικόνα 110: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

- Για την OHL4



OHL4_G1_SF.pl4: v:GISI4A OHL4_G2_SF.pl4: v:GISI4A OHL4_G3_SF.pl4: v:GISI4A OHL4_G4_SF.pl4: v:GISI4A
 OHL4_G7_SF.pl4: v:GISI4A OHL4_G8_SF.pl4: v:GISI4A OHL4_G9_SF.pl4: v:GISI4A OHL4_G10_SF.pl4: v:GISI4A



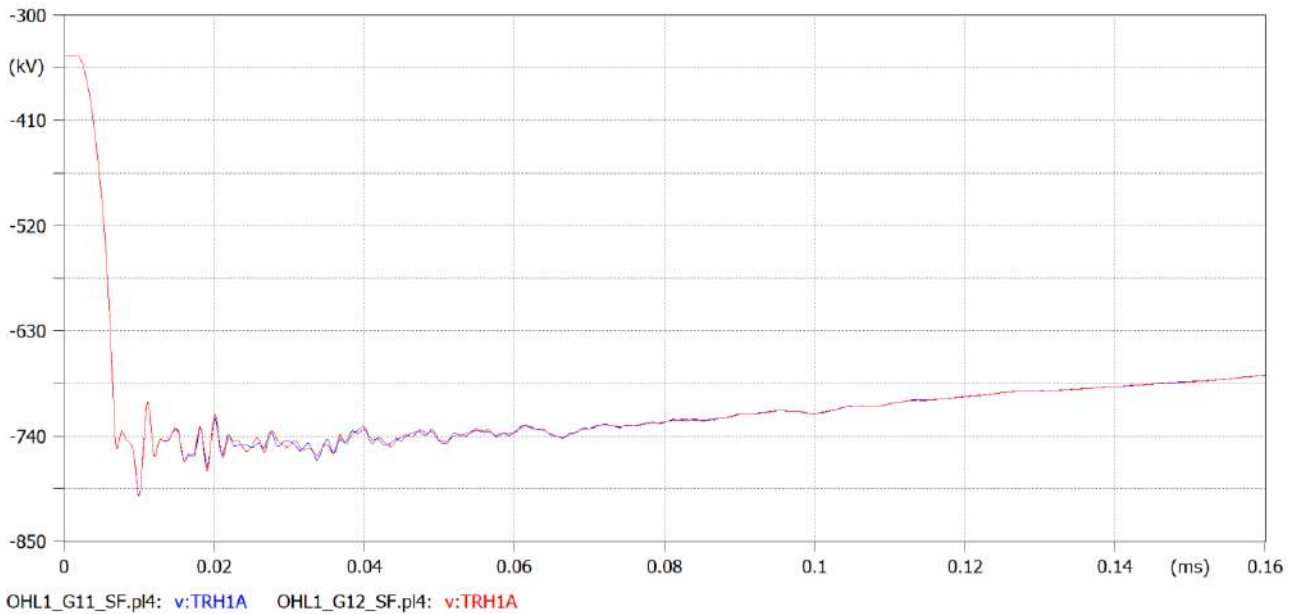
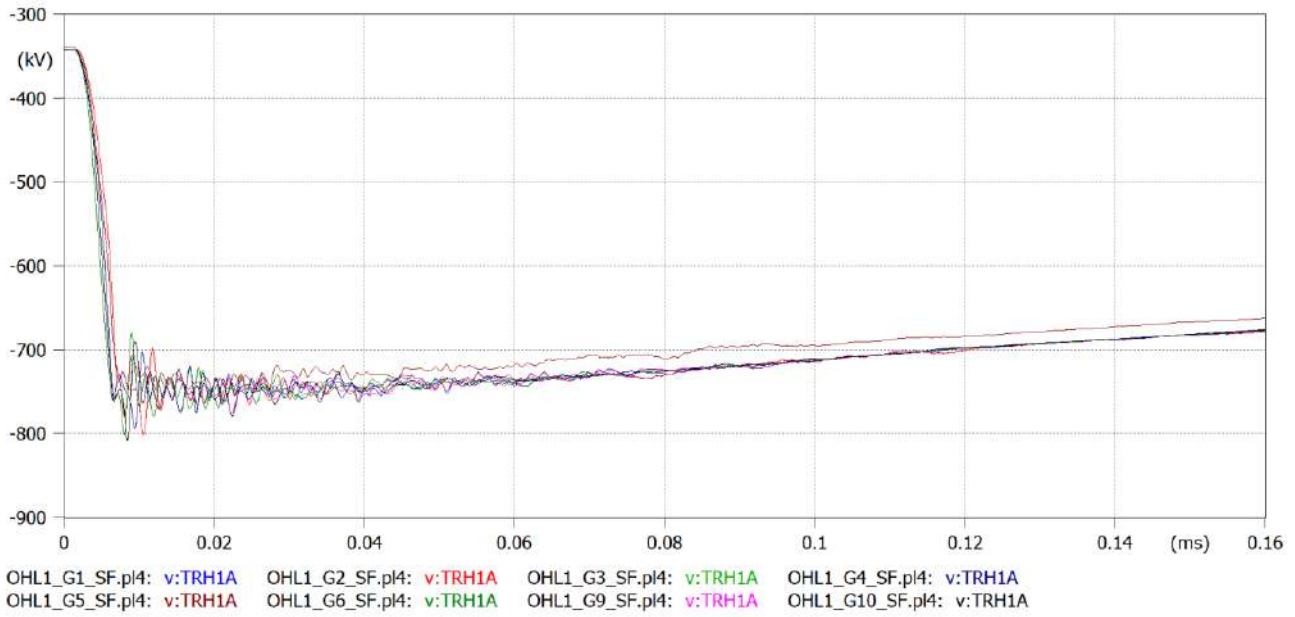
OHL4_G11_SF.pl4: v:GISI4A OHL4_G12_SF.pl4: v:GISI4A

Εικόνα 111: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

Ακολουθούν αντίστοιχα οι κυματομορφές για τον κόμβο TRH1 για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις. Είναι εμφανές ότι στο κρίσιμο για τη μόνωση αρχικό τμήμα τους (έως ~0,04 ms) οι περισσότερες είναι παρόμοιες. Η υπέρταση, ως οδεύον κύμα, αρχικά φθάνει σχεδόν στον ίδιο χρόνο στον Μ/Σ. Σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν για πλήγμα σε αγωγό φάσης, δεν συνέβη διάσπαση, όπως προαναφέρθηκε. Οι τιμές κορυφής των υπερτάσεων δεν διαφέρουν ιδιαίτερα. Η επίδραση των διαφορών αυτών δεν είναι σημαντική από πλευράς συντονισμού μονώσεων. Το ίδιο ισχύει και για την επίδραση στην ουρά, μετά τα ~0,04 ms. Σε σχέση με την είσοδο του ΥΣ GIS οι κυματομορφές έχουν ομαλότερη μορφή, ίσως λόγω της ύπαρξης των καλωδίων ισχύος υψηλής τάσης πριν τον Μ/Σ. Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

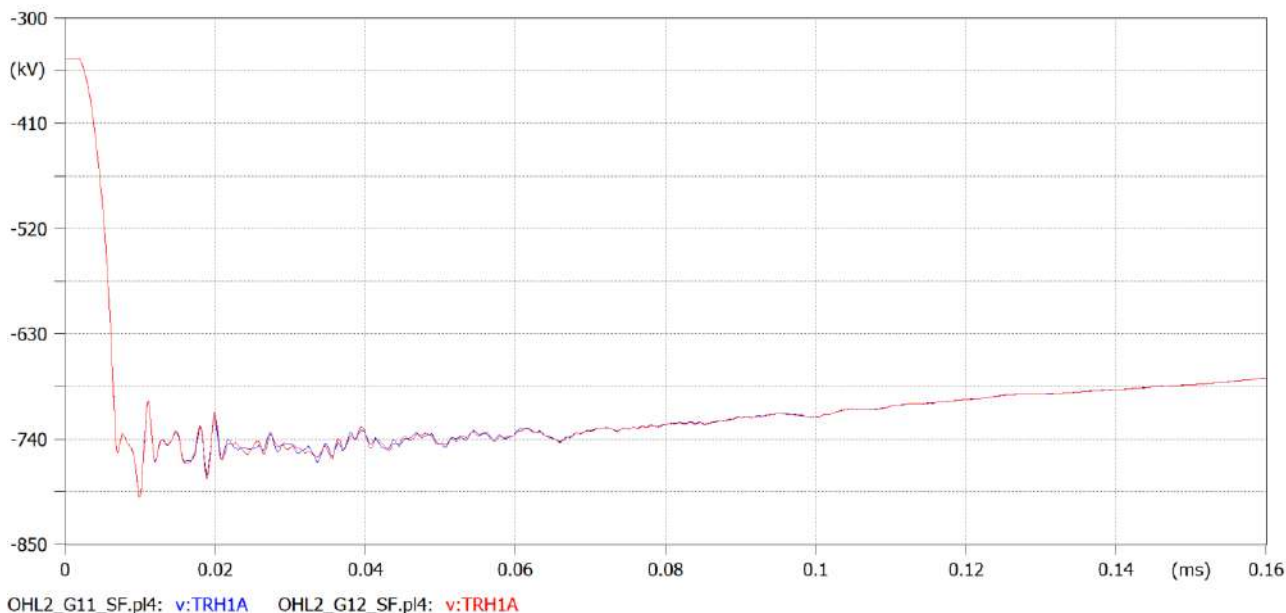
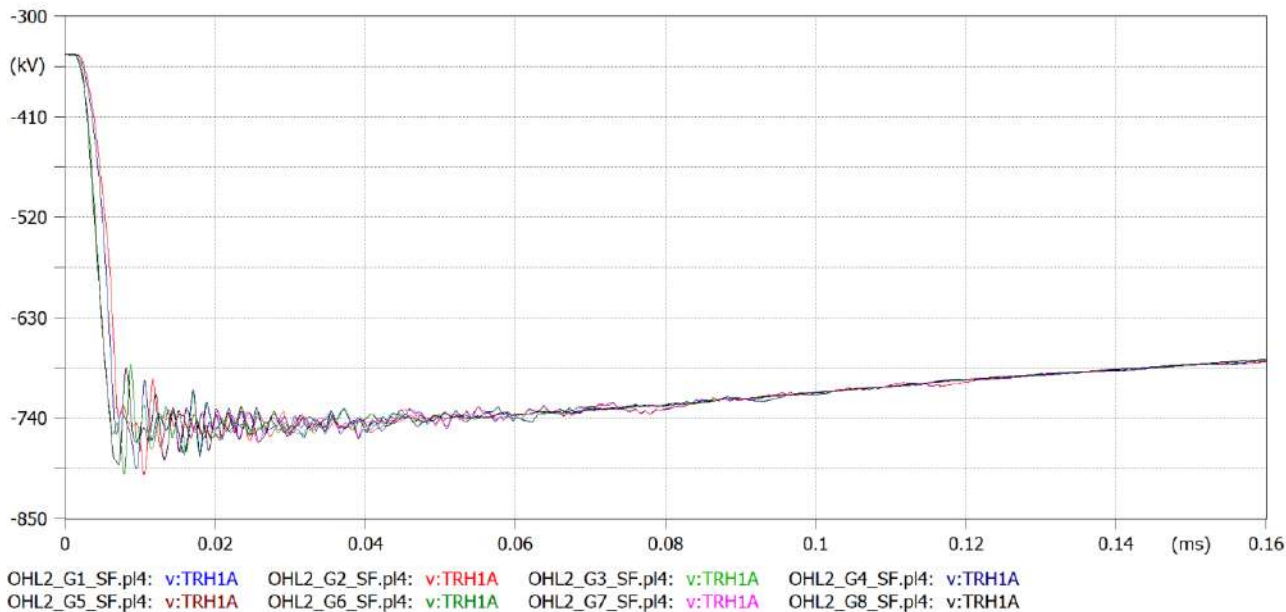
➤ Για τον κόμβο TRH1

• Για την OHL1



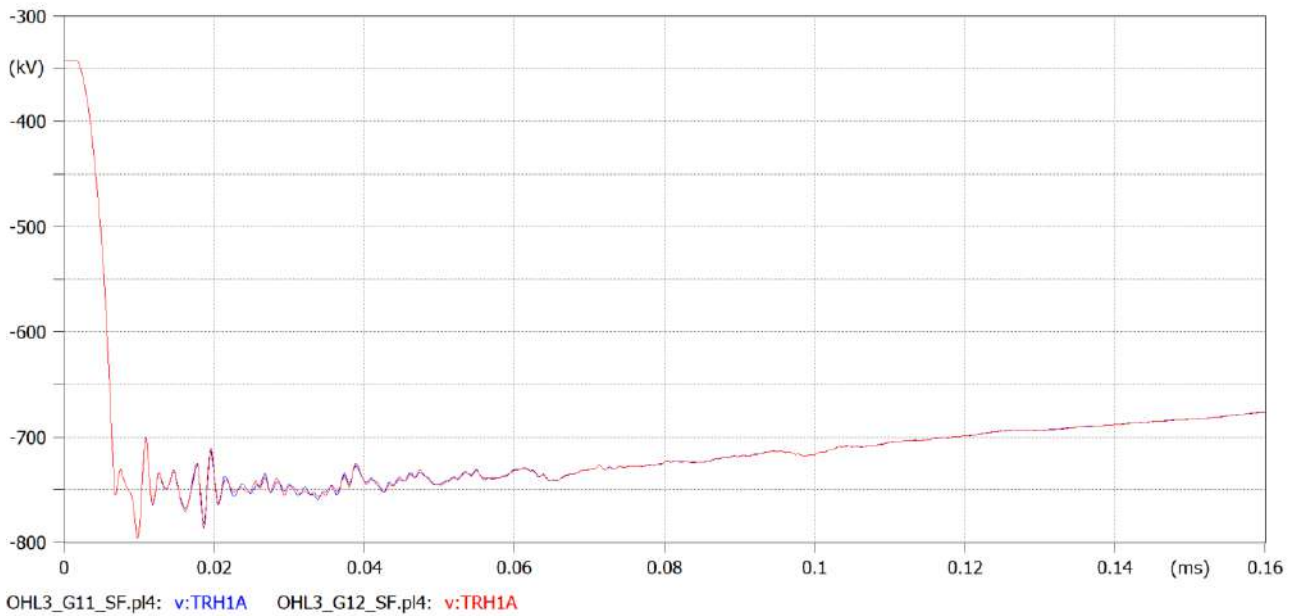
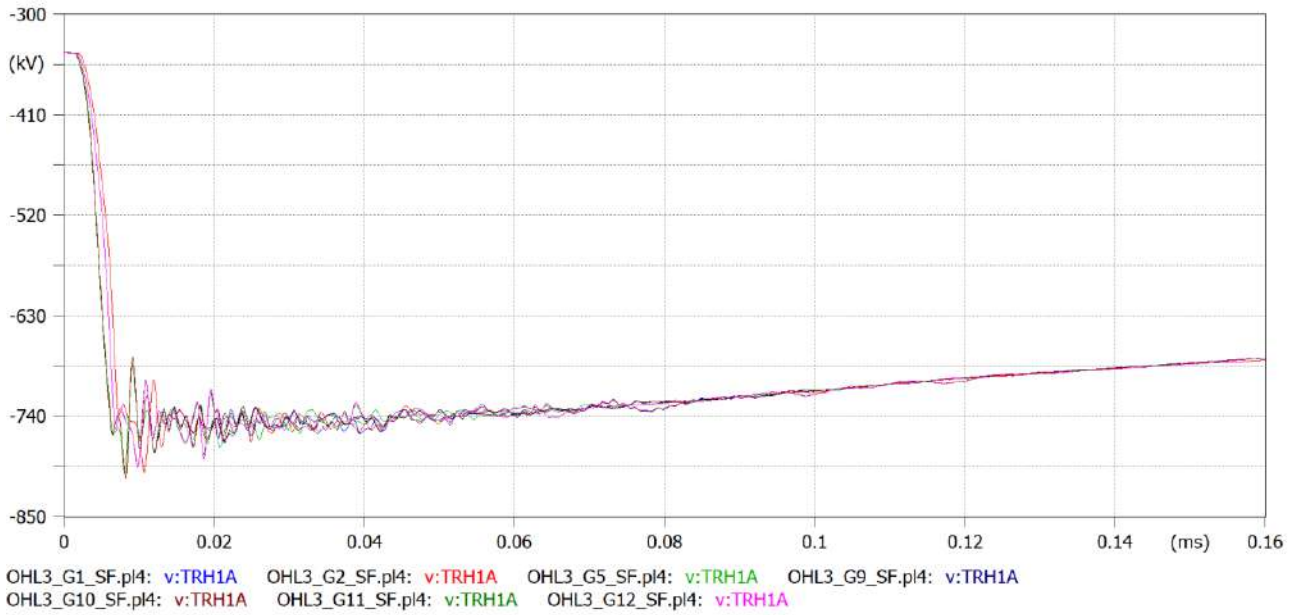
Εικόνα 112: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

- Για την OHL2



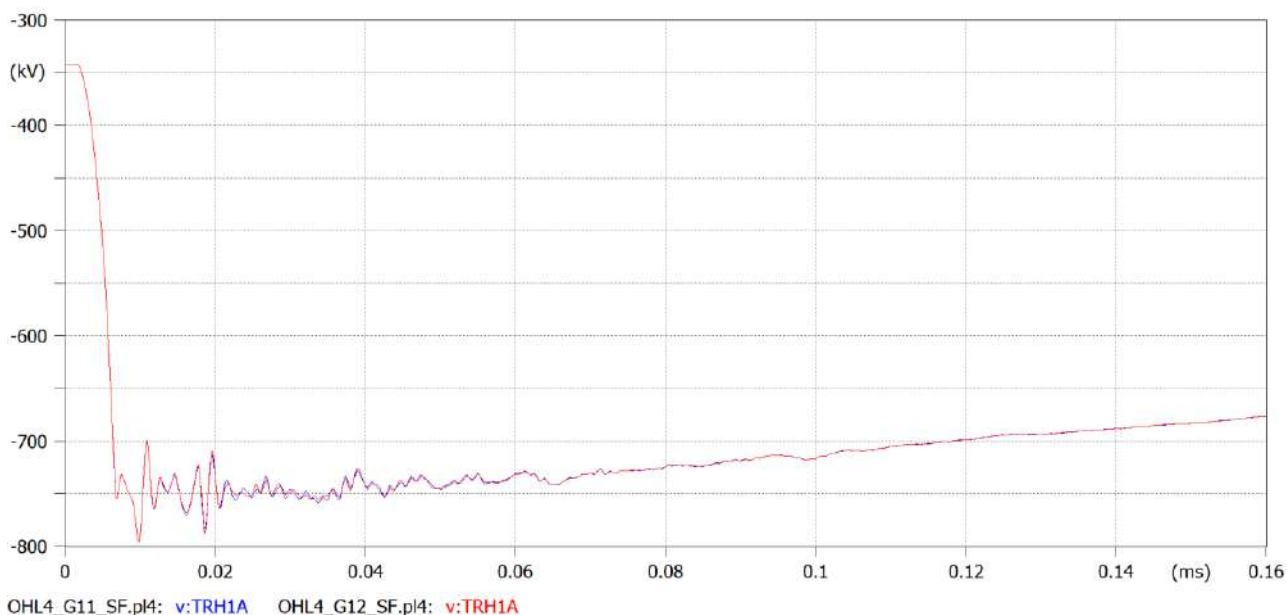
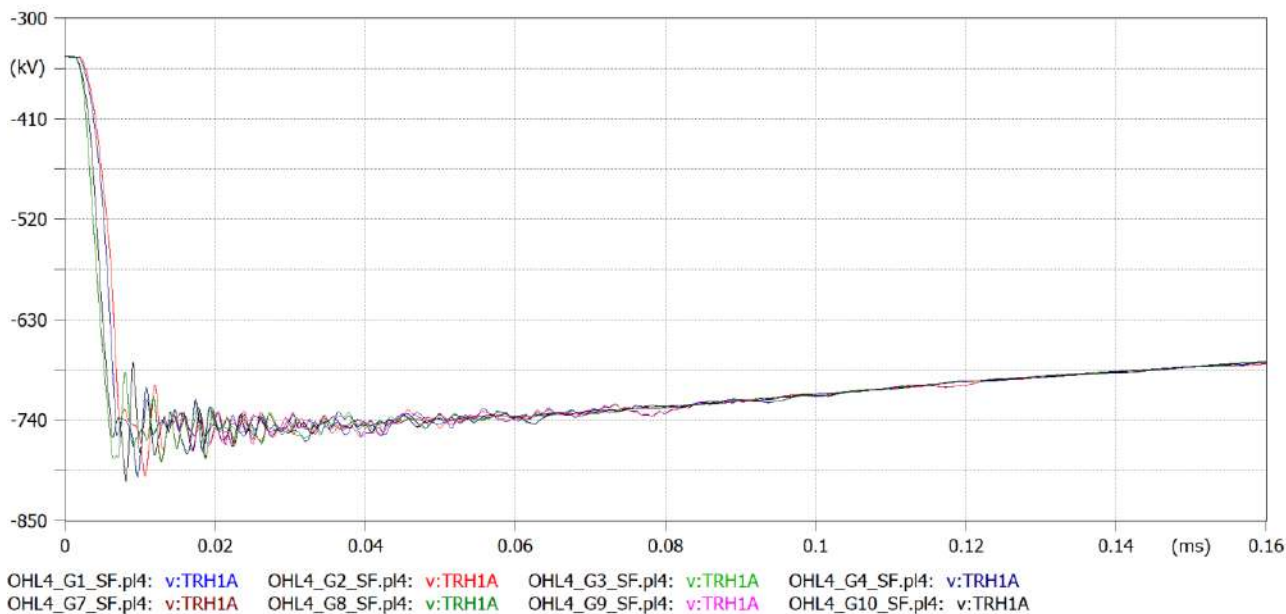
Εικόνα 113: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

- Για την OHL3



Εικόνα 114: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

- Για την OHL4

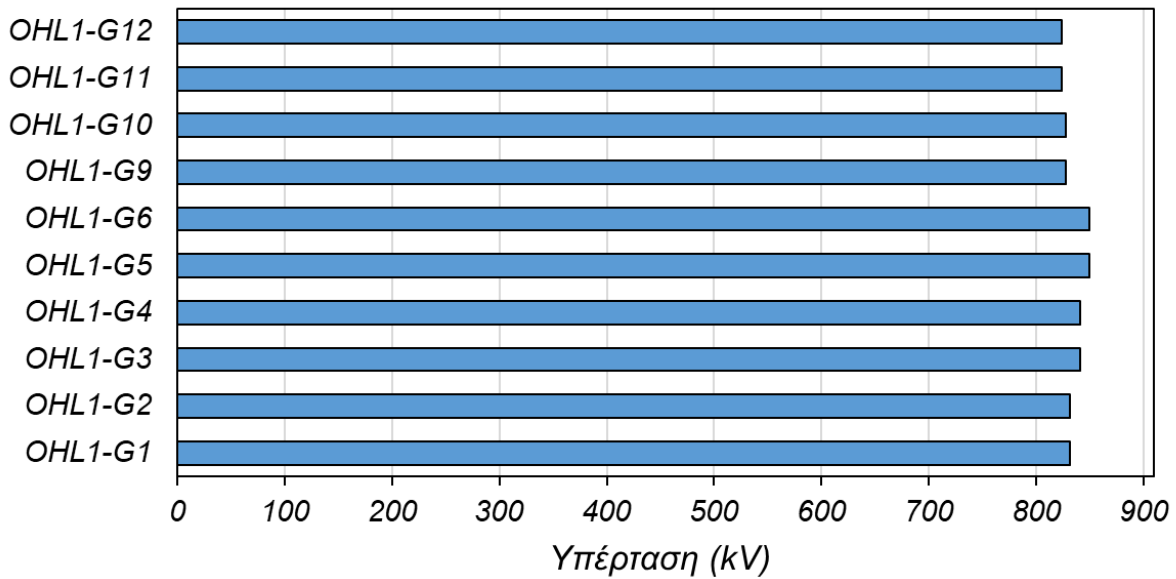


Εικόνα 115: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

Σε αντιστοιχία με την ανάλυση των προηγούμενων ενοτήτων, στη συνέχεια παρατίθενται τα ραβδογράμματα στα σημεία της τιμής κορυφής της υπέρτασης στους κόμβους ενδιαφέροντος.

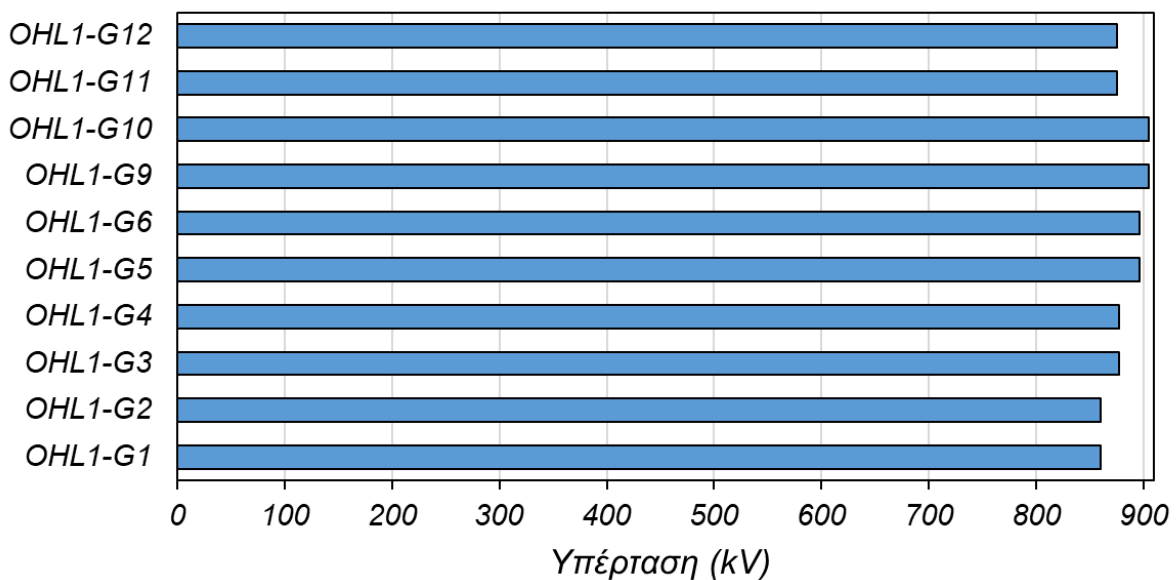
➤ Για την OHL1:

• Κόμβος GISI1



Εικόνα 116: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

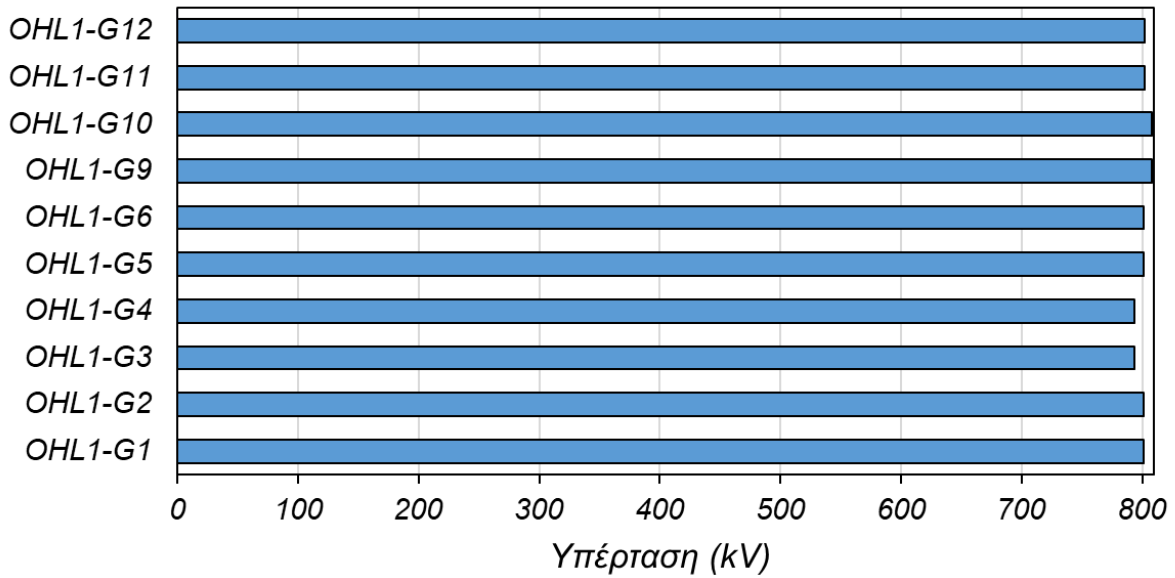
• Κόμβος GISO1



Εικόνα 117: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

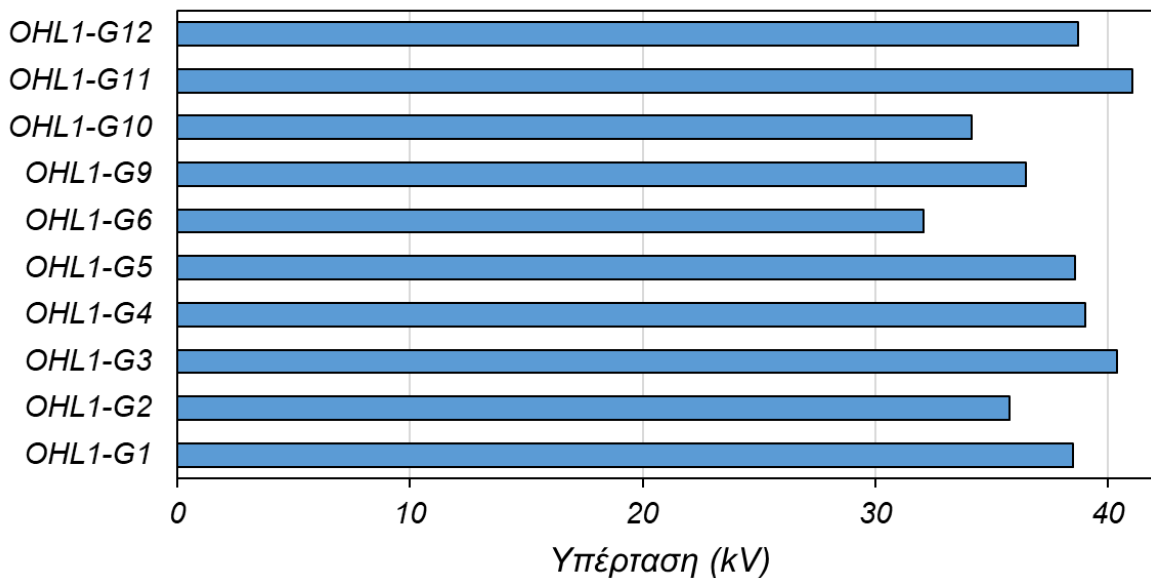
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



Εικόνα 118: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

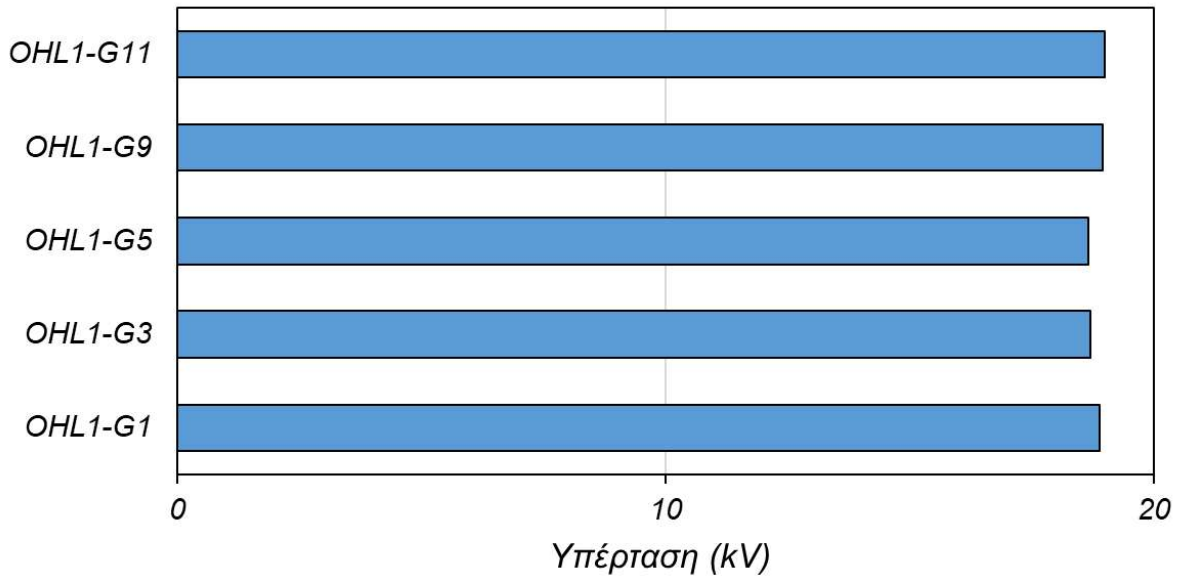
- Κόμβος TRL12



Εικόνα 119: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

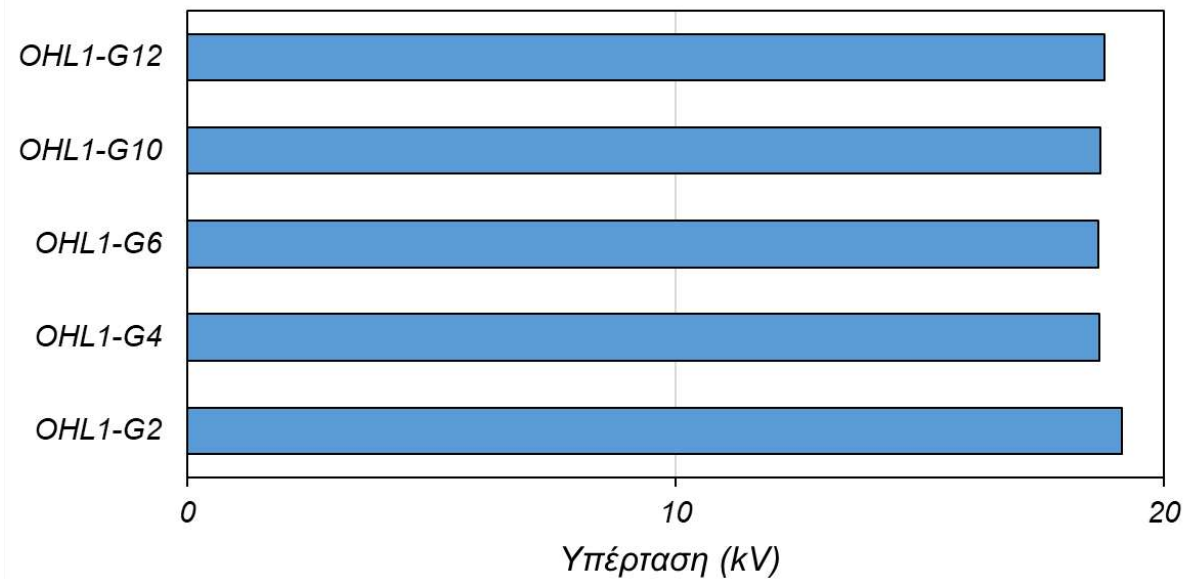
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- **Κόμβος G**



Εικόνα 120: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

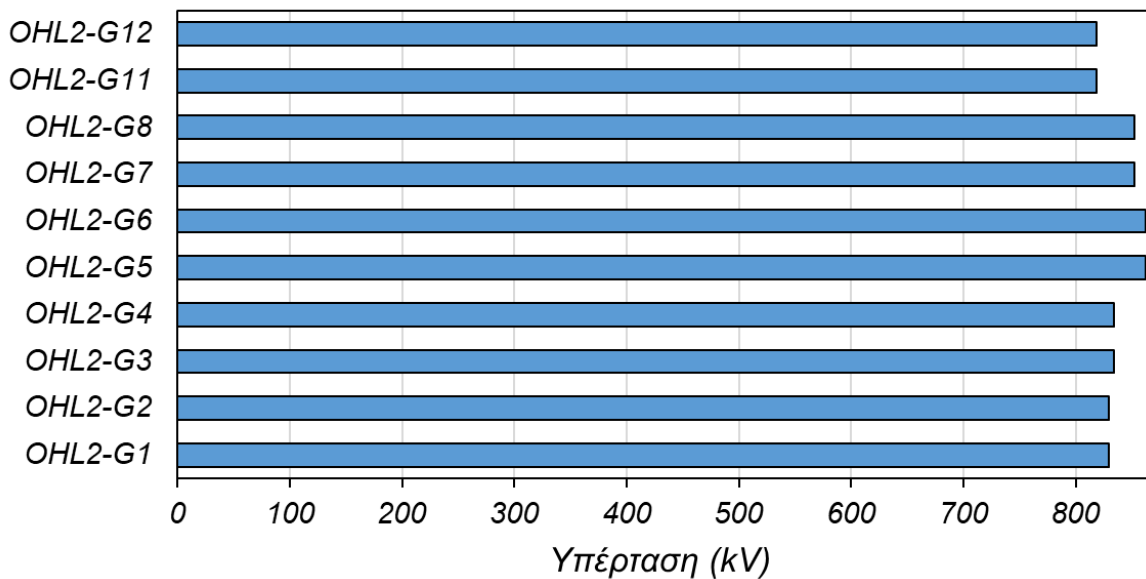
- **Κόμβος G2**



Εικόνα 121: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με μία γεννήτρια

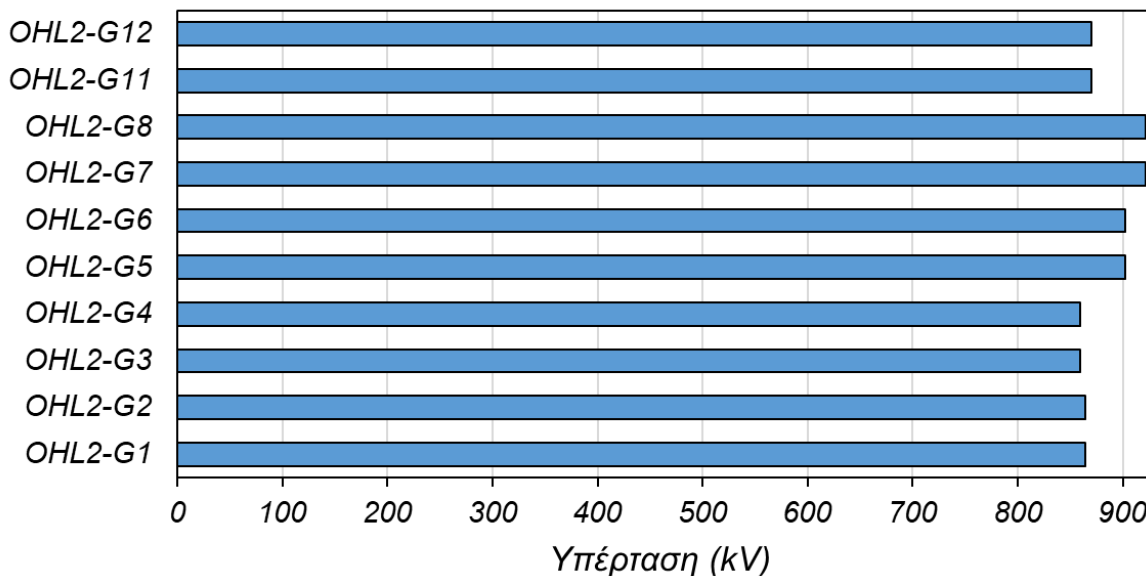
➤ Για την OHL2:

• Κόμβος GISI1



Εικόνα 122: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

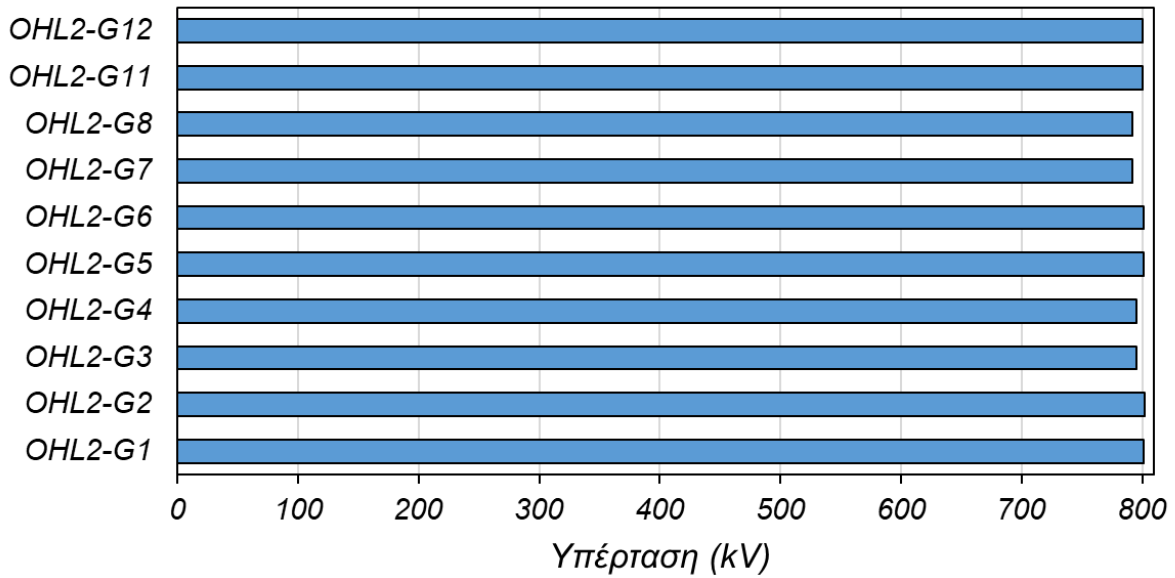
• Κόμβος GISO1



Εικόνα 123: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

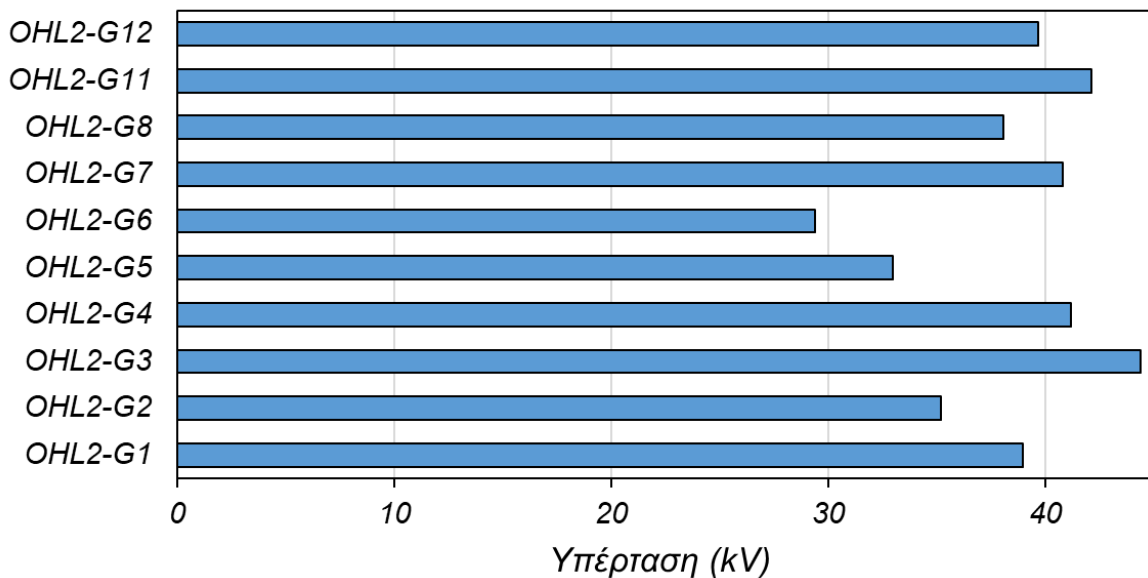
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



Εικόνα 124: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

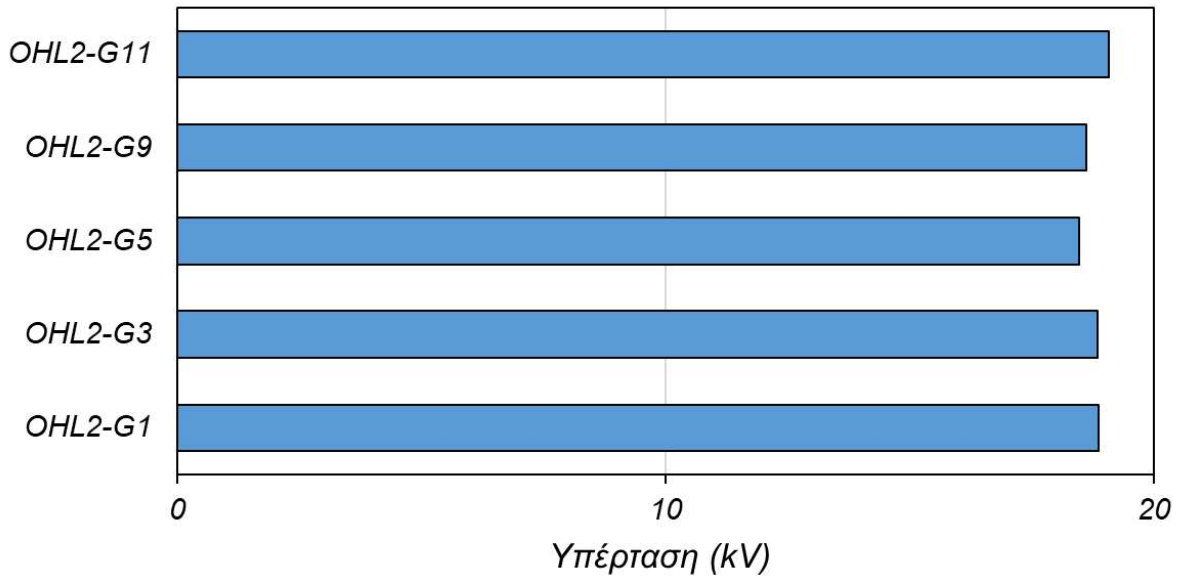
- Κόμβος TRL12



Εικόνα 125: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

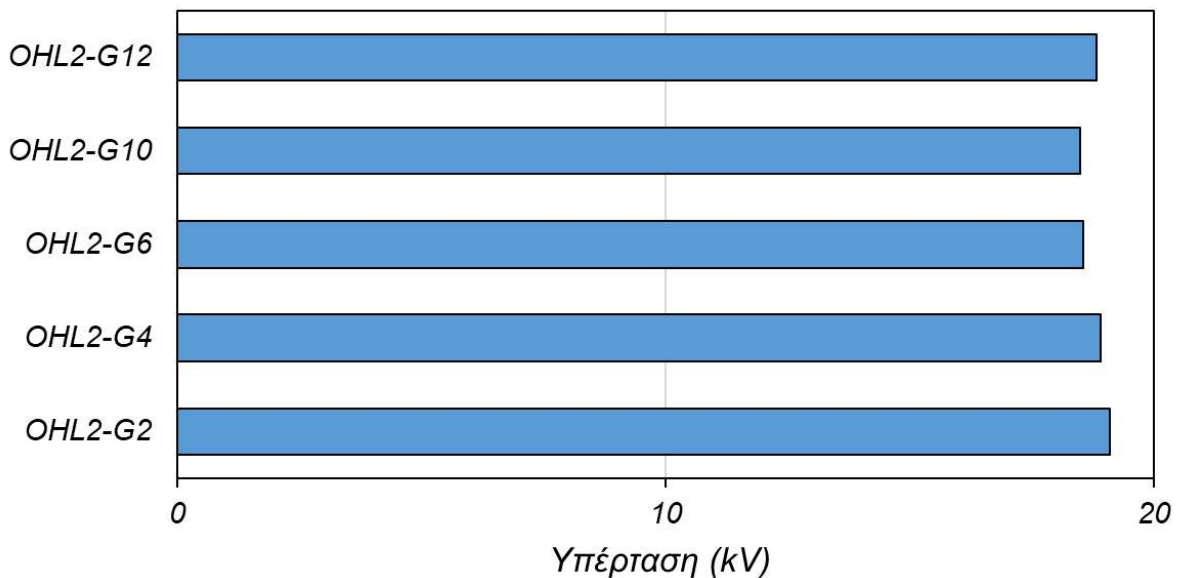
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

• Κόμβος G



Εικόνα 126: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

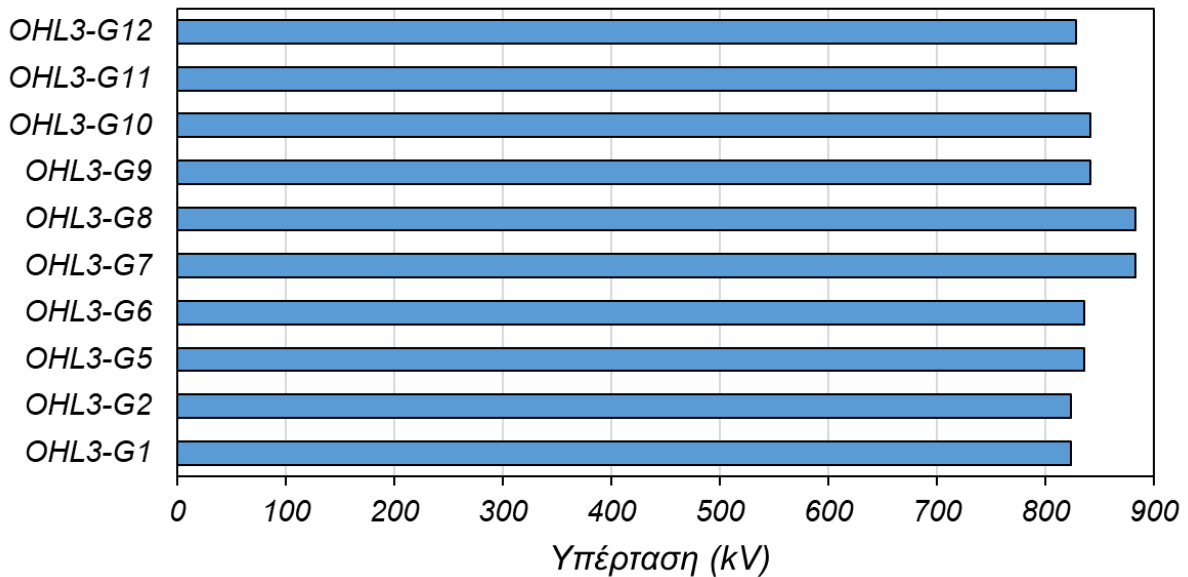
• Κόμβος G



Εικόνα 127: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με μία γεννήτρια

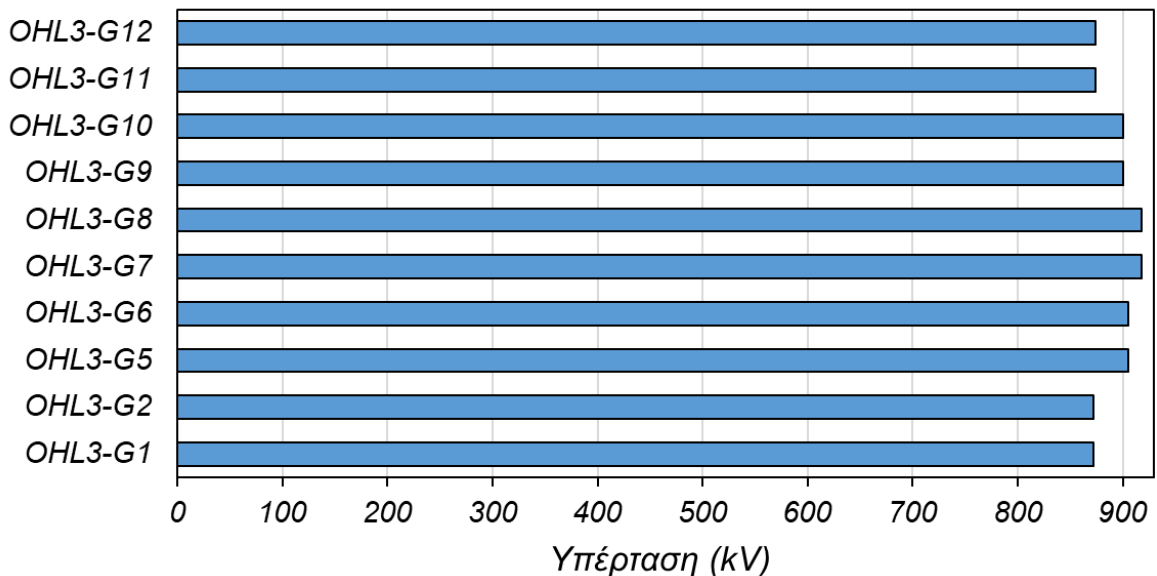
➤ Για την OHL3:

• Κόμβος GISI1



Εικόνα 128: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

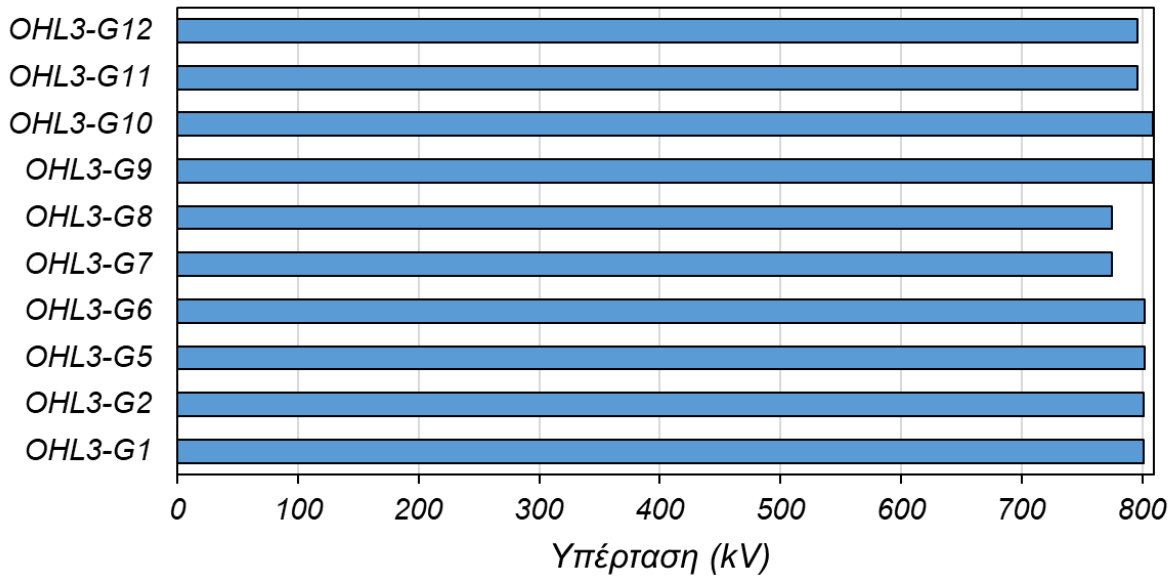
• Κόμβος GISO1



Εικόνα 129: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

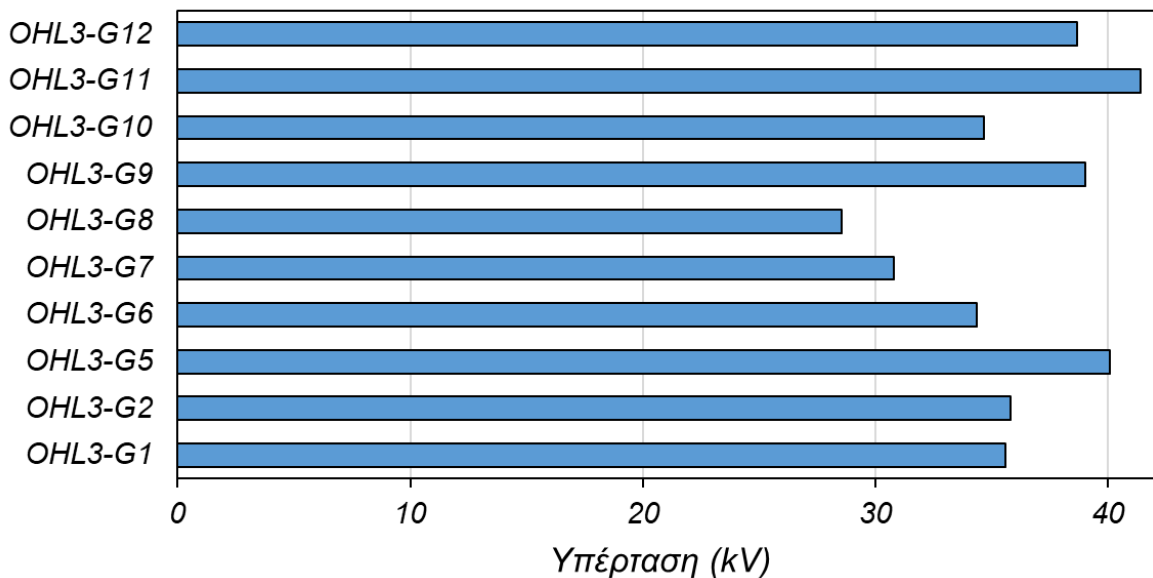
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRH1



Εικόνα 130: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

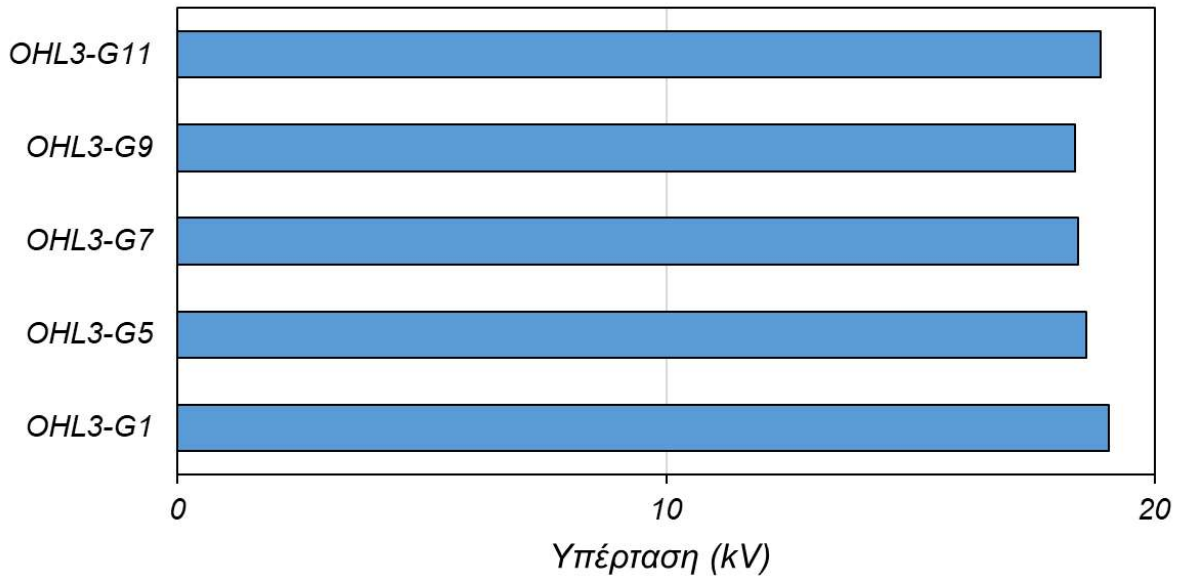
- Κόμβος TRL12



Εικόνα 131: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

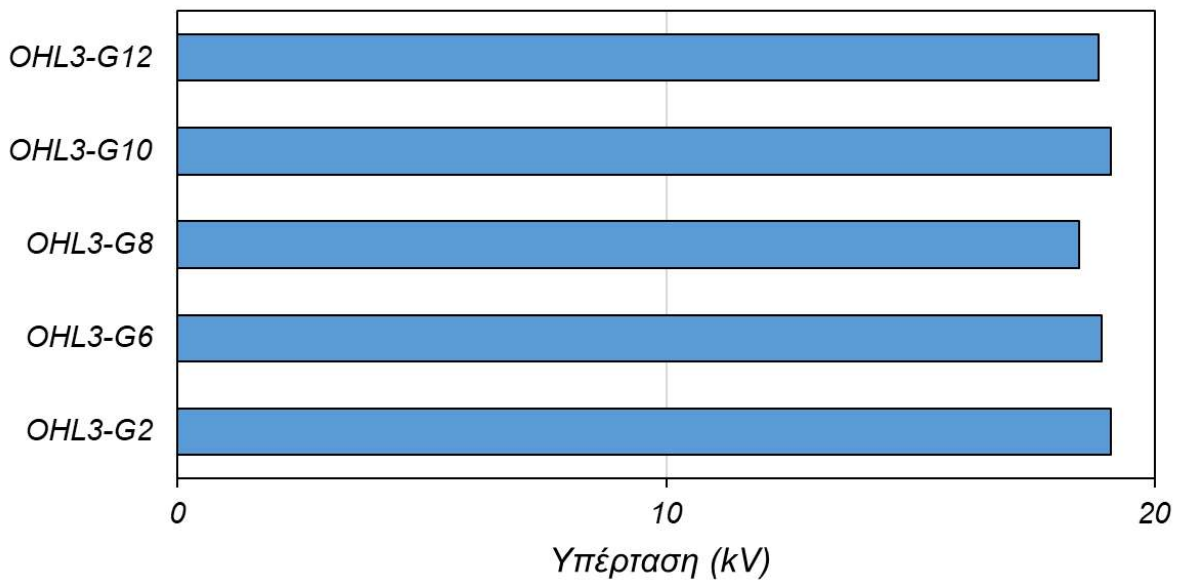
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

• Κόμβος G



Εικόνα 132: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

• Κόμβος G

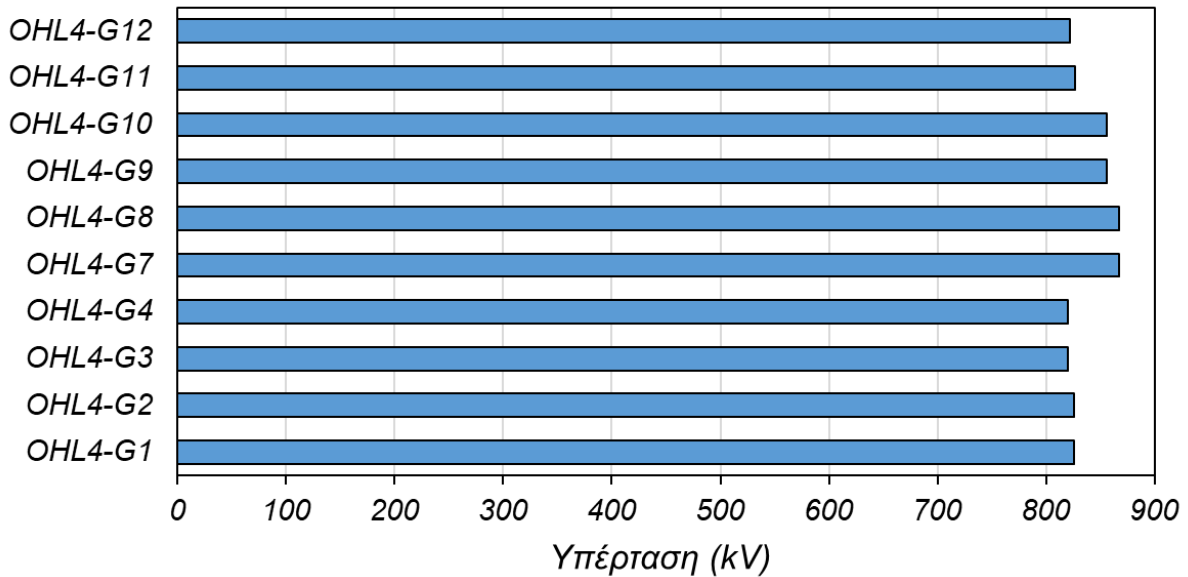


Εικόνα 133: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με μία γεννήτρια

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

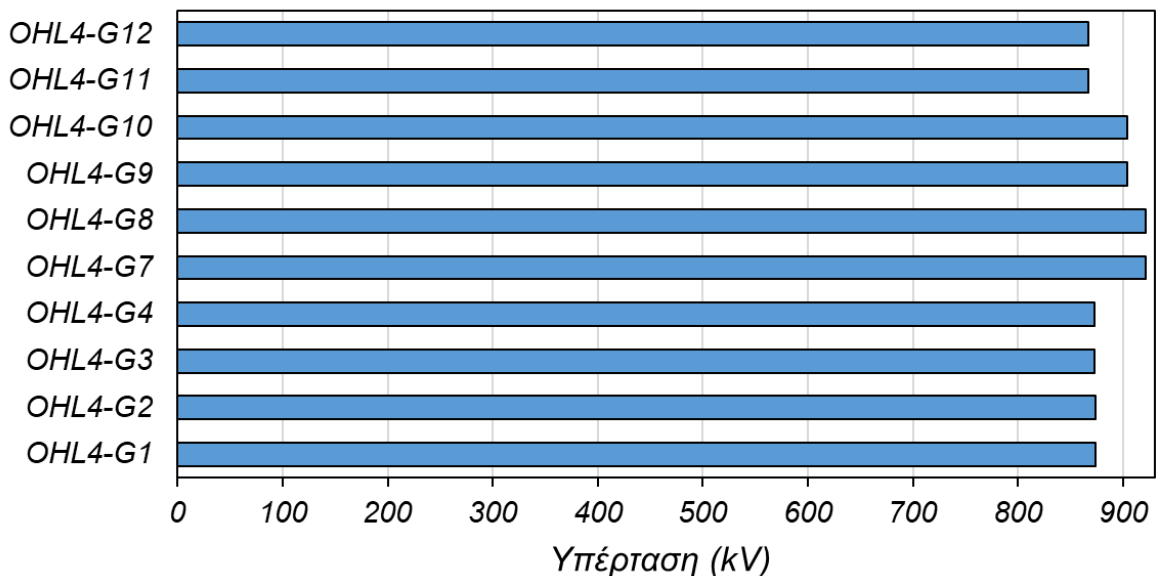
➤ Για την OHL4:

• Κόμβος GISI1



Εικόνα 134: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

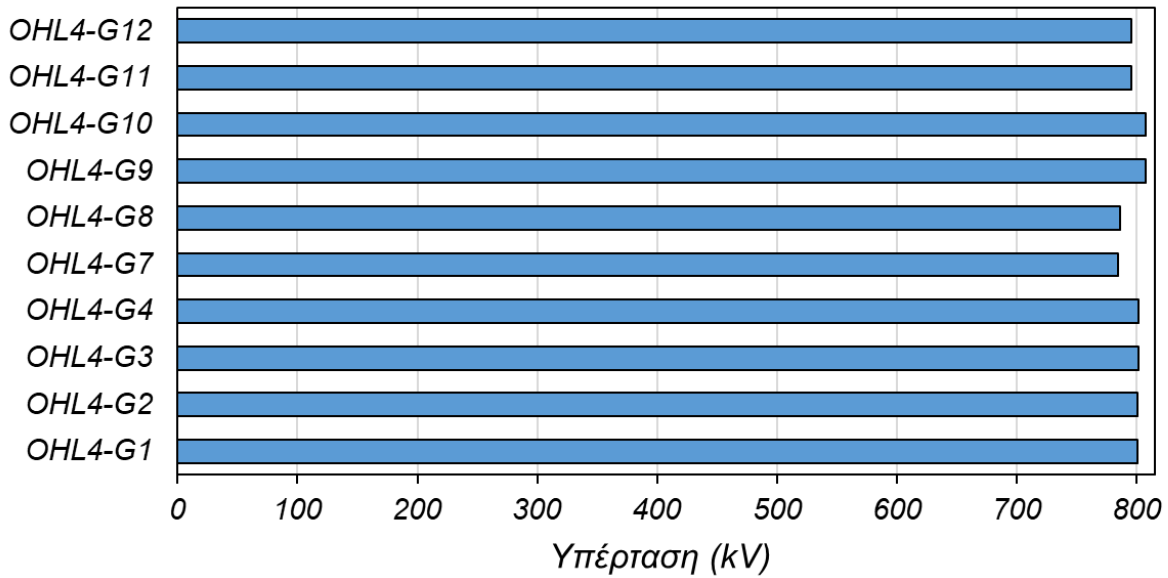
• Κόμβος GISO1



Εικόνα 135: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

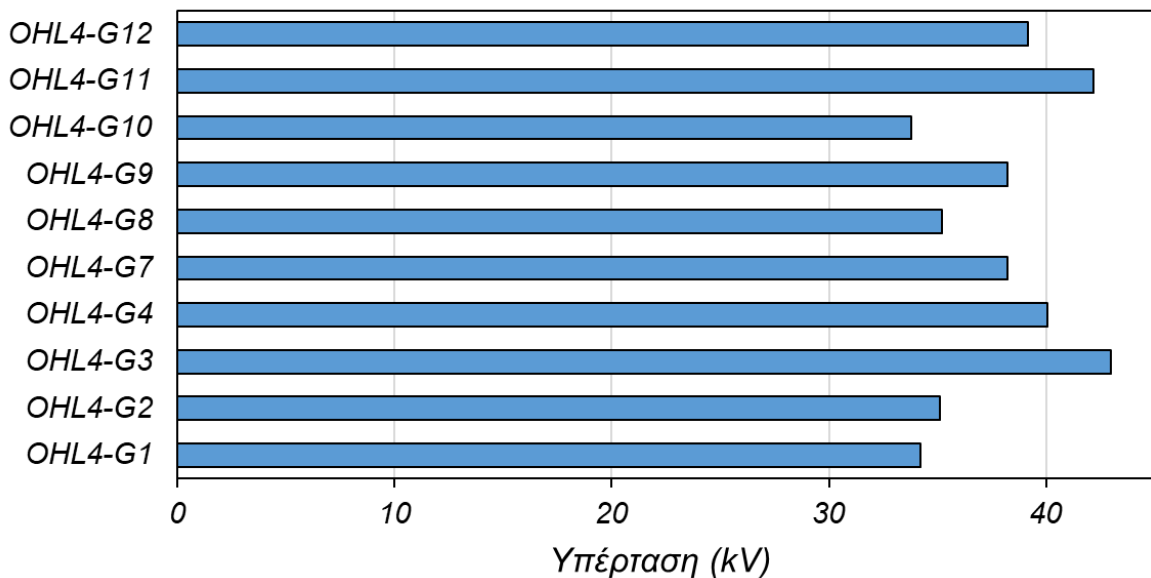
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

• Κόμβος TRH1



Εικόνα 136: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

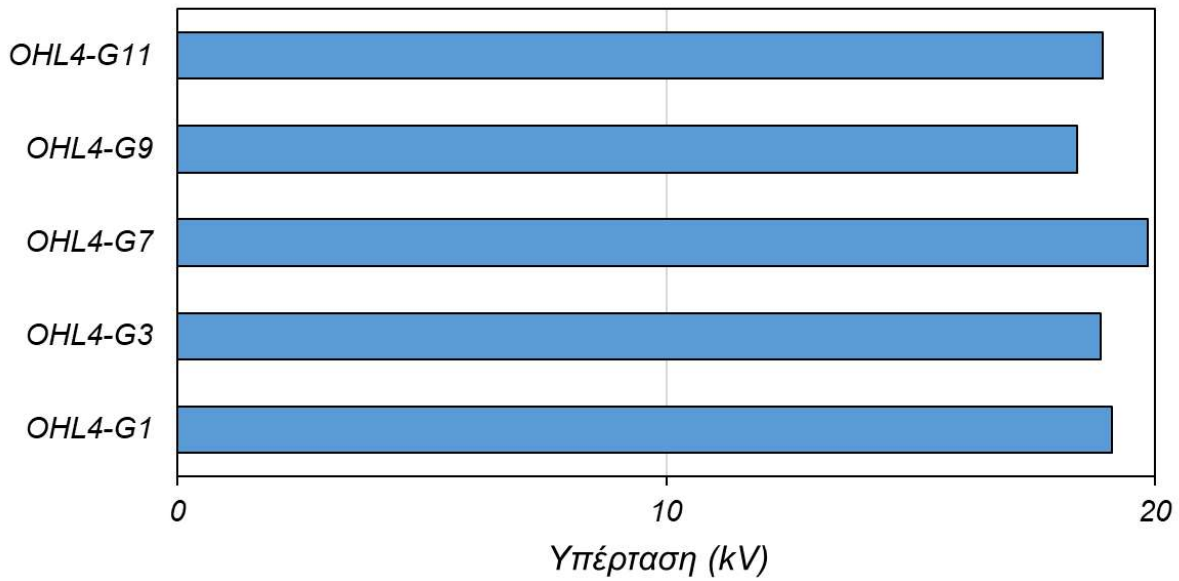
• Κόμβος TRL12



Εικόνα 137: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

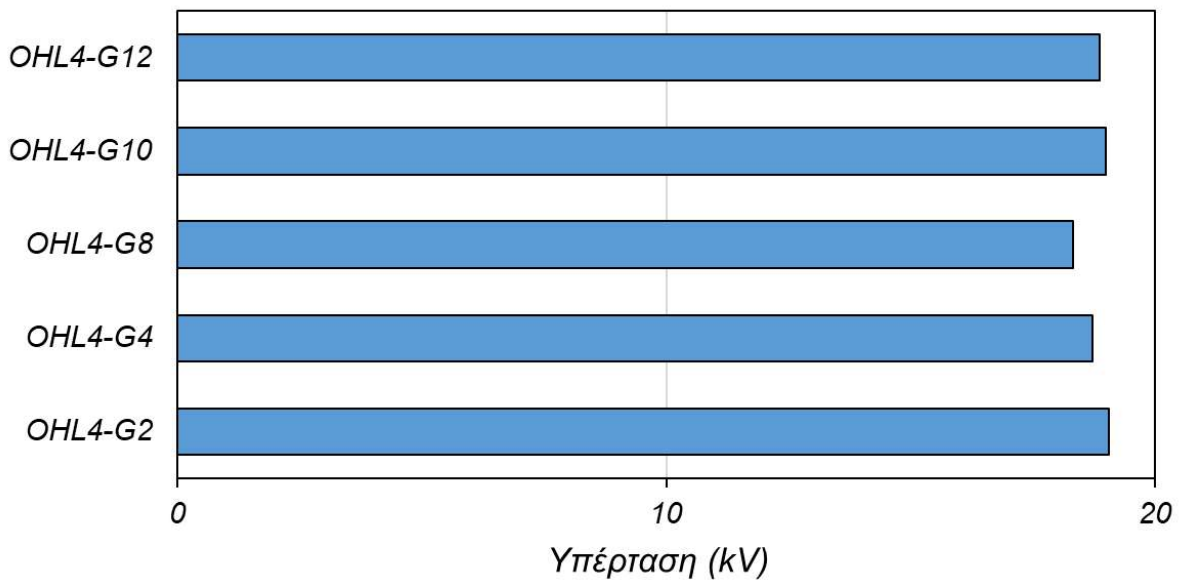
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

• Κόμβος G



Εικόνα 138: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

• Κόμβος G



Εικόνα 139: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με μία γεννήτρια

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Οι τιμές των τάσεων κορυφής εξαρτώνται από τον κόμβο ο οποίος εξετάζεται και γενικά είναι μικρότερες στον ΜΣ λόγω της ύπαρξης των καλωδίων ισχύος και των εκτροπέων υπέρτασης στην είσοδο της γραμμής. Αν συγκριθούν με τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν από την περίπτωση ανάστροφης διάσπασης είναι φανερό ότι και πάλι το αποτέλεσμα της σύγκρισης εξαρτάται από τον κάθε κόμβο και δεν προκύπτει γενικό συμπέρασμα.

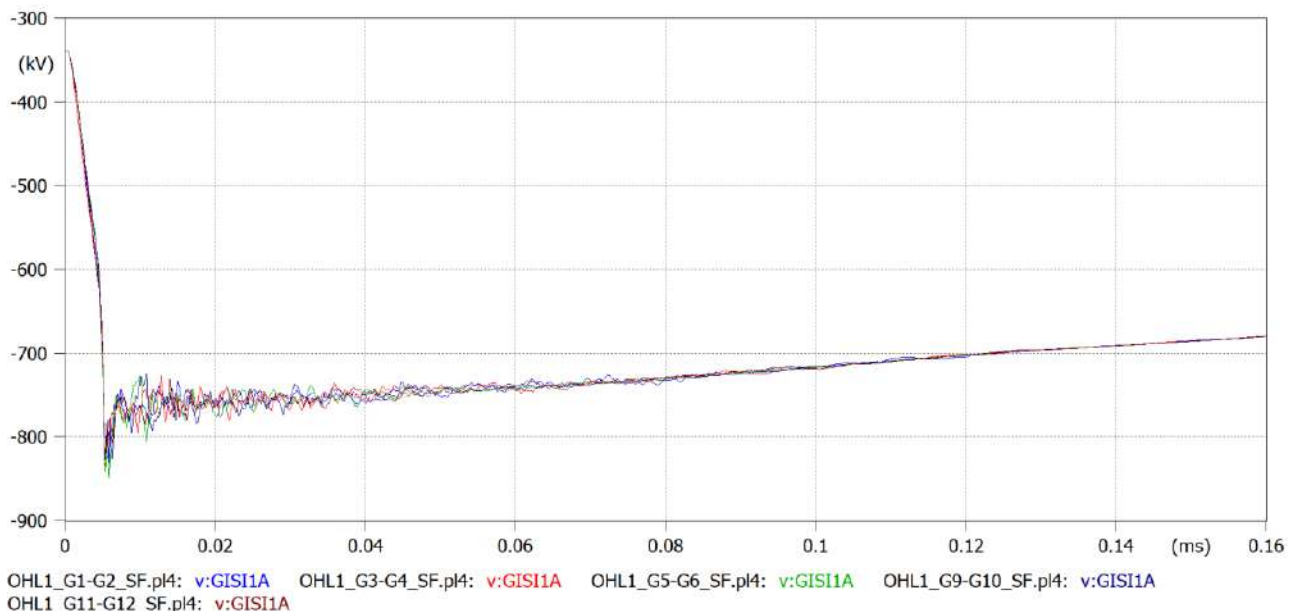
Από τα παραπάνω γραφήματα μπορεί επιπλέον να παρατηρηθεί ότι η μεγαλύτερη τιμή κορυφής στους κόμβους GIS1 και GIS0 αντιστοιχεί κυρίως στις γεννήτριες G7, G8, οι οποίες έχουν τα μικρότερα καλώδια ισχύος (250 m), ενώ για τον Μ/Σ στις γεννήτριες G9, G10 (450 m καλώδια), συγκρίσιμο με την ανάστροφη διάσπαση όπου οι αντίστοιχες γεννήτριες ήταν οι G5, G6 με καλώδια 400 m. Ο ακριβής λόγος είναι δύσκολο να βρεθεί λόγω πολυπλοκότητας του συστήματος. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι μάλλον οφείλεται σε συνδυασμό ανακλάσεων και θέσεις εκτροπέων υπέρτασης σε σχέση με το σημείο ενδιαφέροντος.

4.2.2 Μία συνδεδεμένη γραμμή μεταφοράς με δύο γεννήτριες

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα με την προηγούμενη ενότητα παρουσιάζονται για την περίπτωση της μίας συνδεδεμένης γραμμής μεταφοράς με δύο γεννήτριες, αντί της μίας της προηγούμενης ενότητας.

➤ Για τον κόμβο GIS11

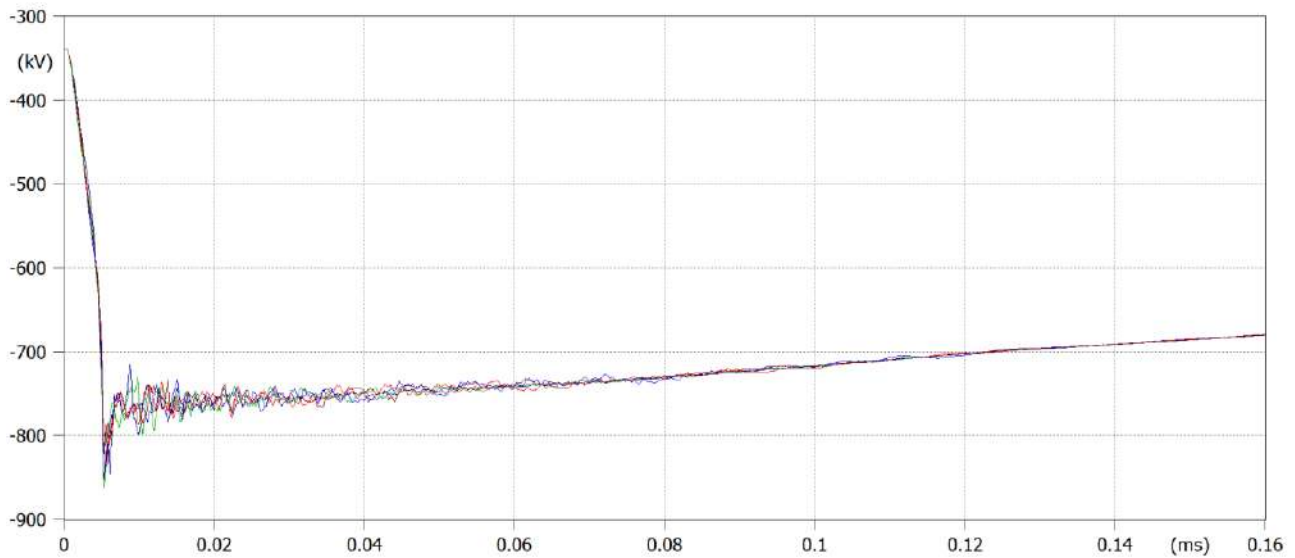
• Για την OHL1



Εικόνα 140: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

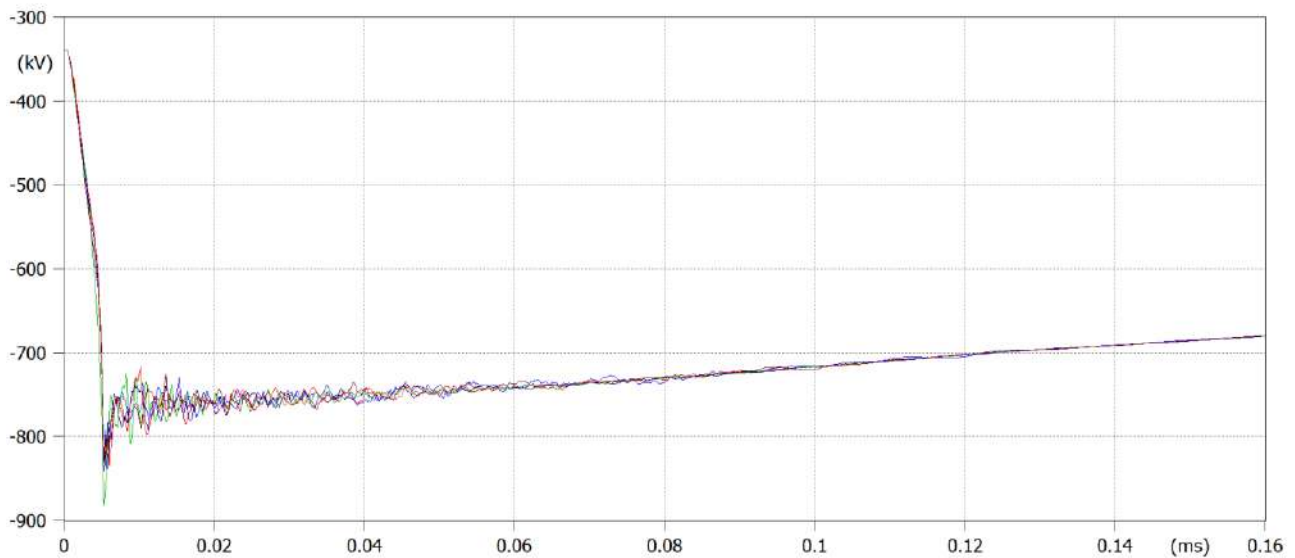
- Για την OHL2



OHL2_G1-G2_SF.pl4: v:GISI2A OHL2_G3-G4_SF.pl4: v:GISI2A OHL2_G5-G6_SF.pl4: v:GISI2A OHL2_G7-G8_SF.pl4: v:GISI2A
 OHL2_G11-G12_SF.pl4: v:GISI2A

Εικόνα 141: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

- Για την OHL3

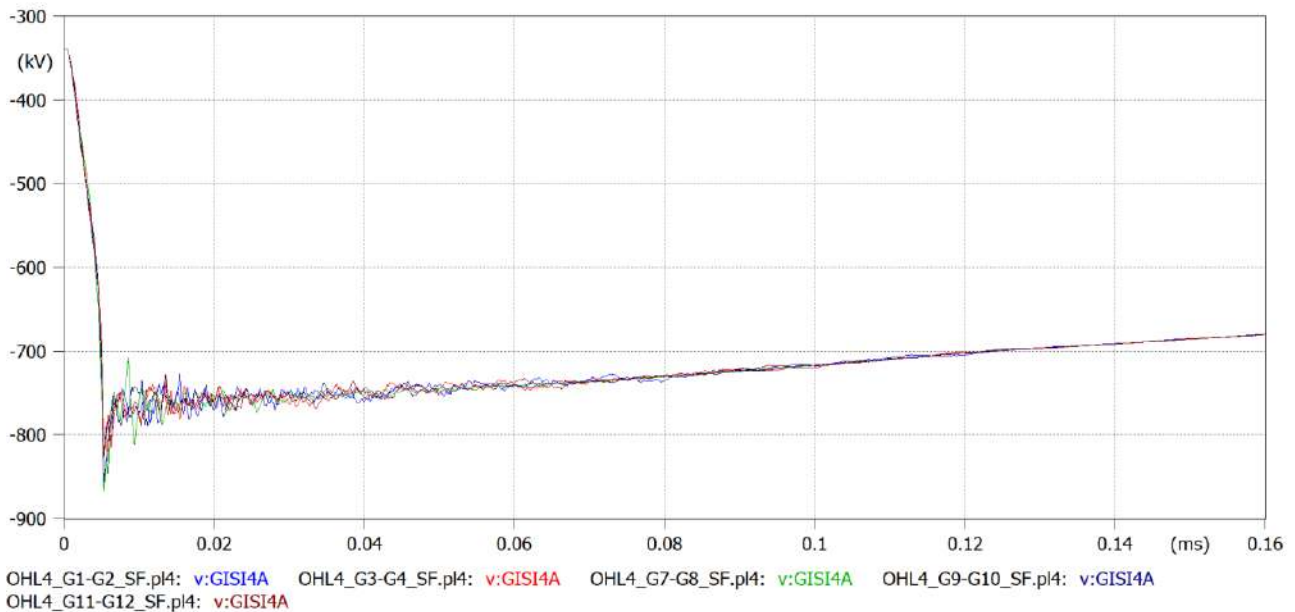


OHL3_G1-G2_SF.pl4: v:GISI3A OHL3_G5-G6_SF.pl4: v:GISI3A OHL3_G7-G8_SF.pl4: v:GISI3A OHL3_G9-G10_SF.pl4: v:GISI3A
 OHL3_G11-G12_SF.pl4: v:GISI3A

Εικόνα 142: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Για την OHL4

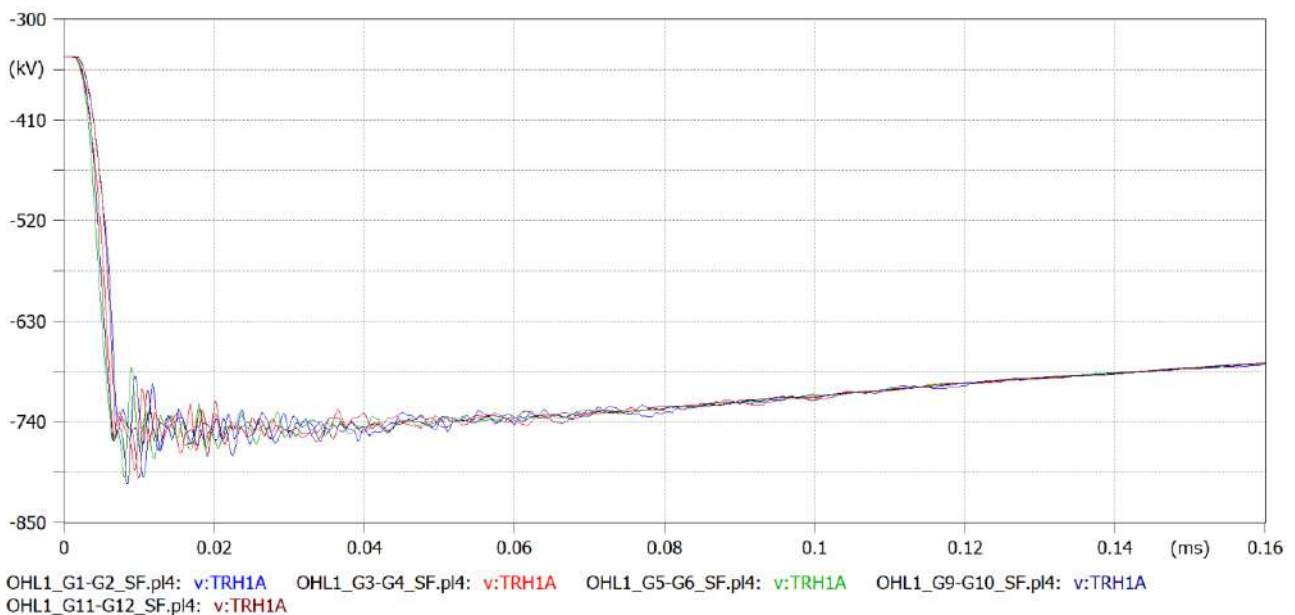


Εικόνα 143: Κυματομορφές υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

Από τα αποτελέσματα για τον κόμβο GISI διαπιστώνεται ότι οι κυματομορφές είναι παρόμοιες με αυτές της περίπτωσης με τη μία συνδεδεμένη γεννήτρια. Το ίδιο ισχύει και για τις κυματομορφές των υπερτάσεων στον κόμβο του Μ/Σ που ακολουθούν.

➤ Για τον κόμβο Μ/Σ

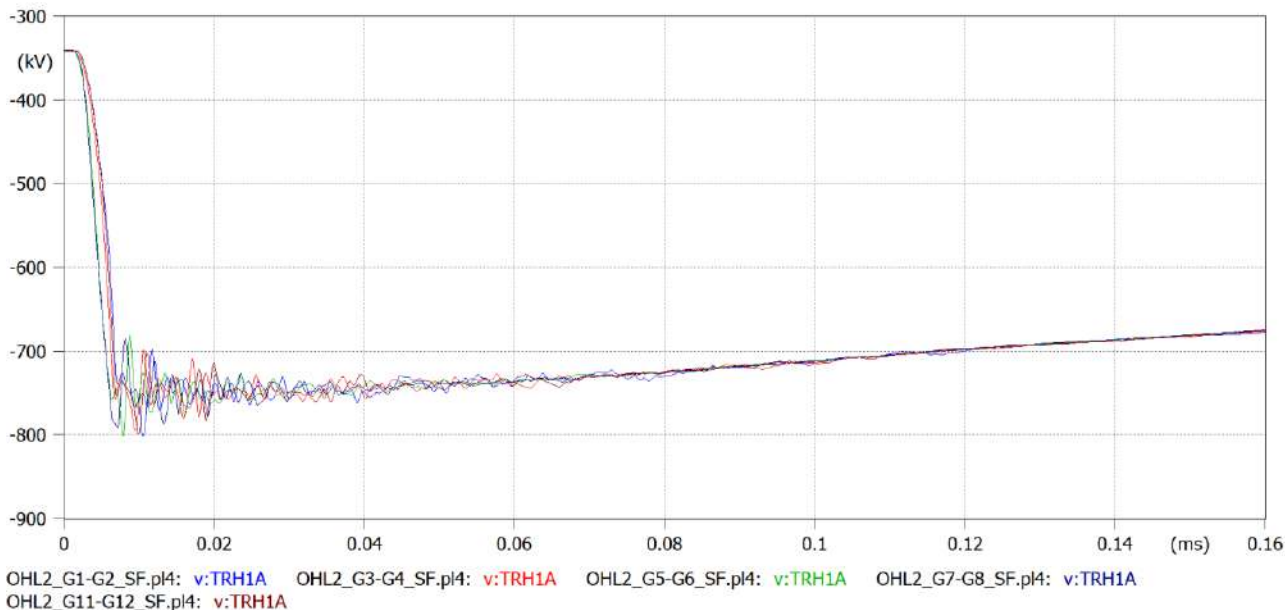
- Για την OHL1



Εικόνα 144: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

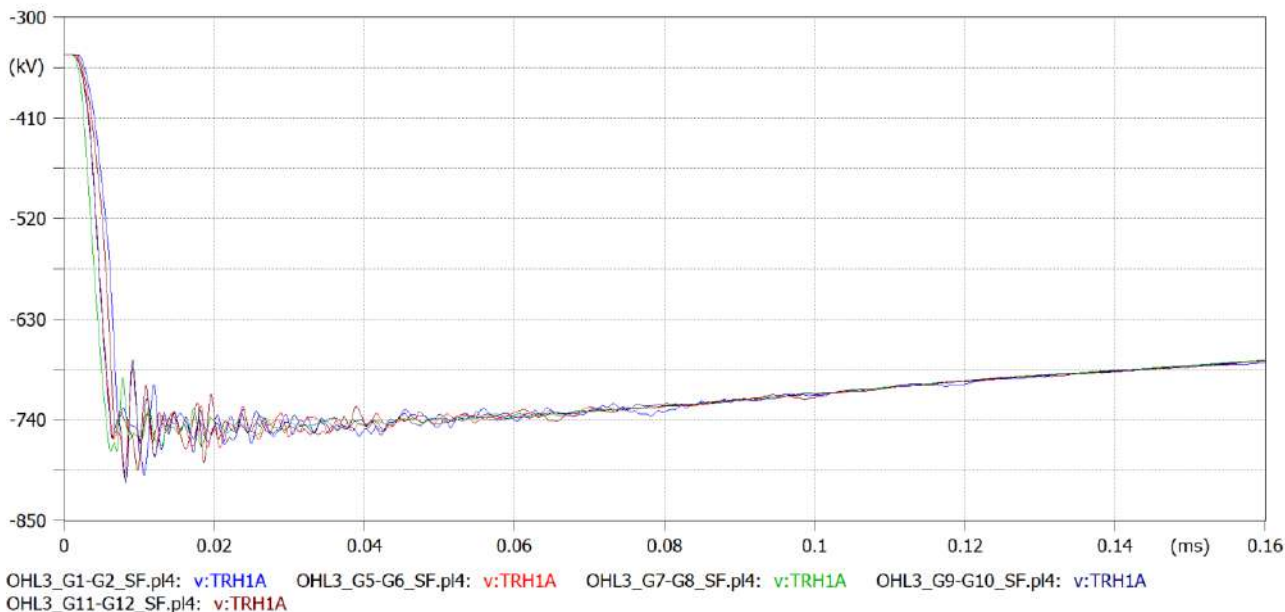
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Για την OHL2



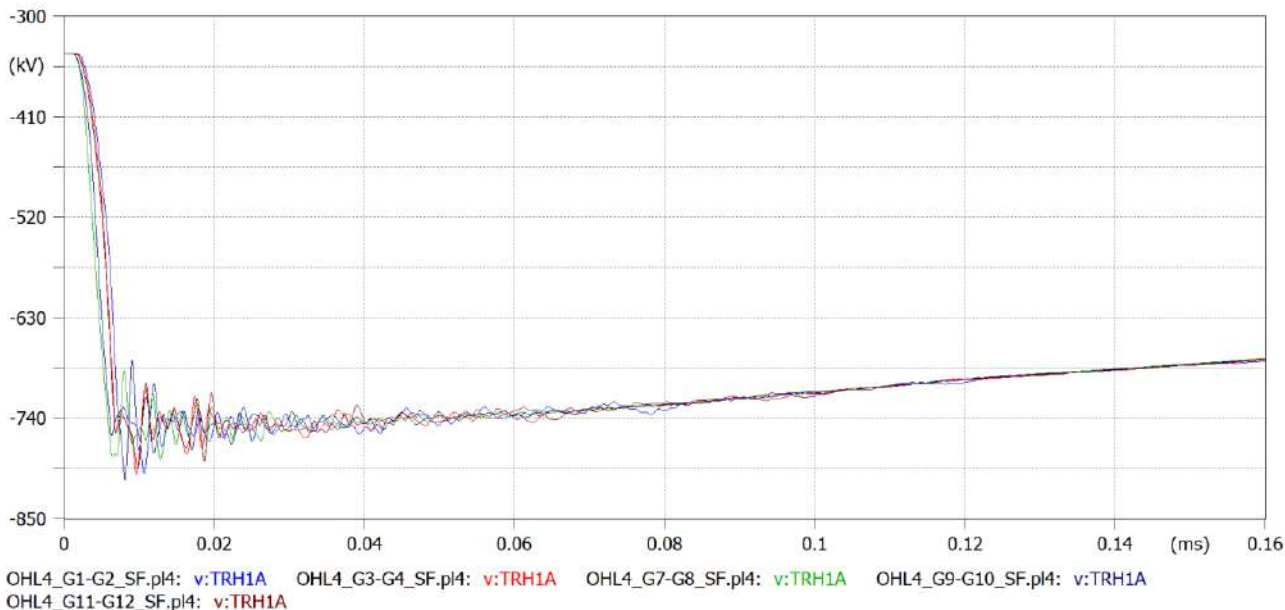
Εικόνα 145: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

- Για την OHL3



Εικόνα 146: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

• Για την OHL4

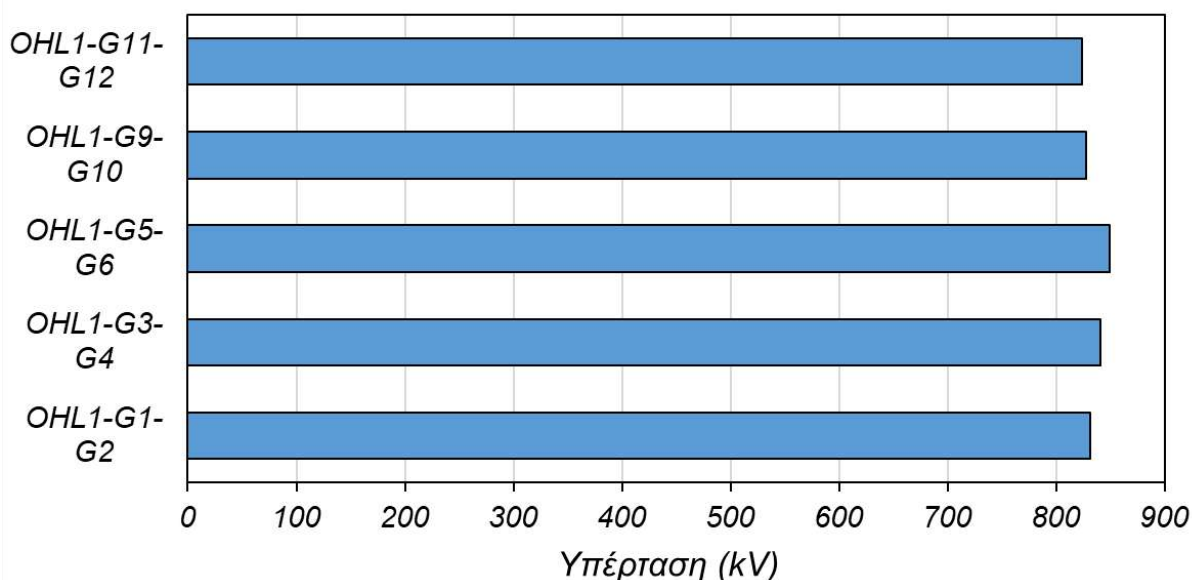


Εικόνα 147: Κυματομορφές υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε κυματομορφή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

Στη συνέχεια παρατίθενται τα ραβδογράμματα των τιμών κορυφής για τις διάφορες τοπολογίες σε κάθε κόμβο υψηλής τάσης.

➤ Για την OHL1

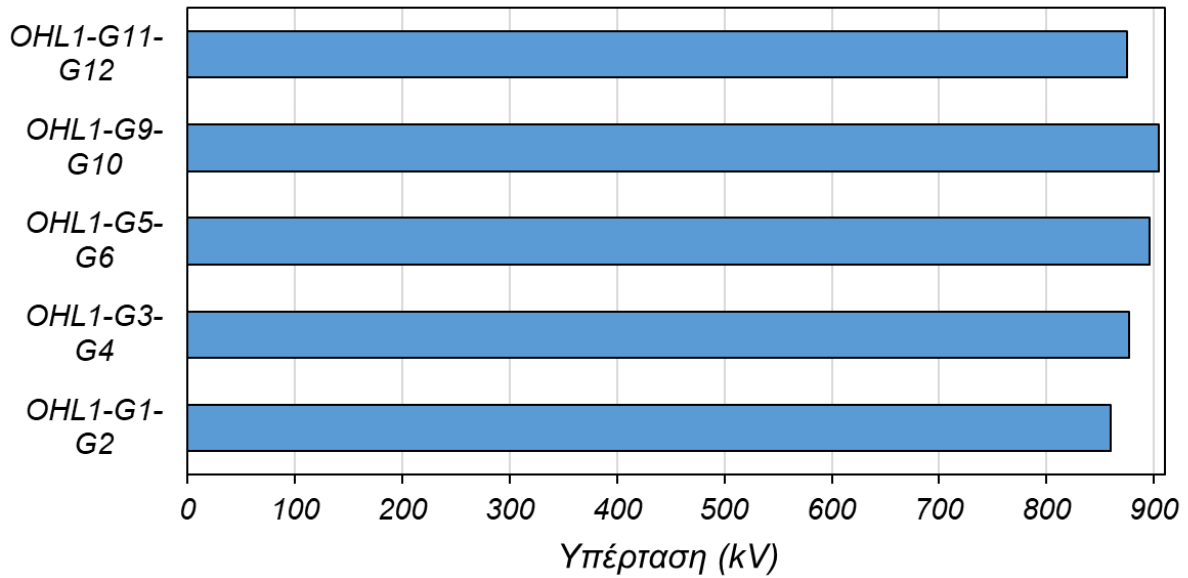
• Κόμβος GISI1



Εικόνα 148: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

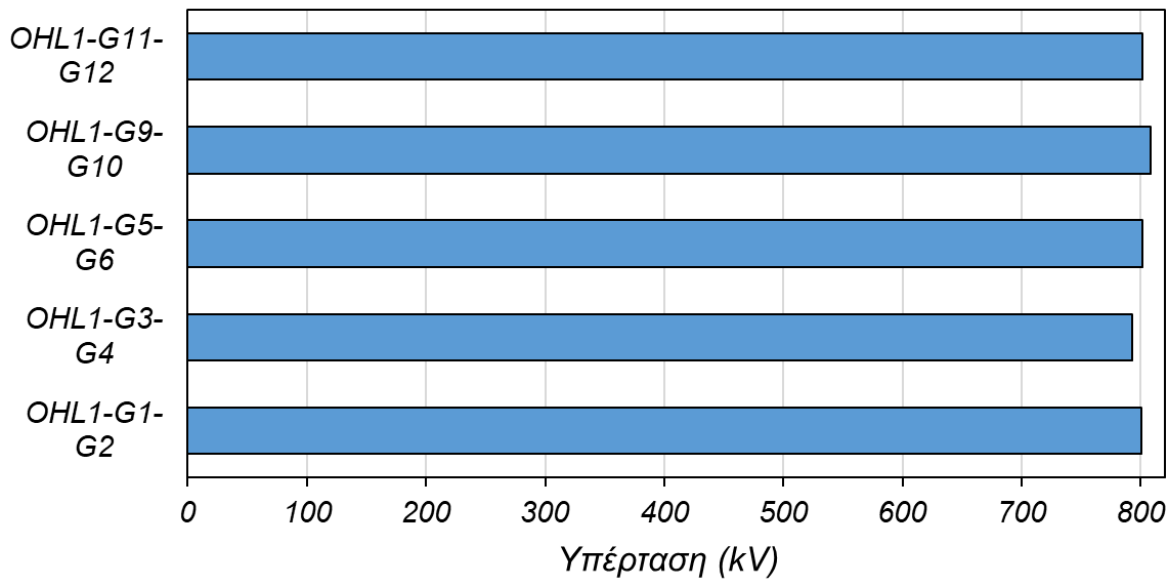
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος GIS01



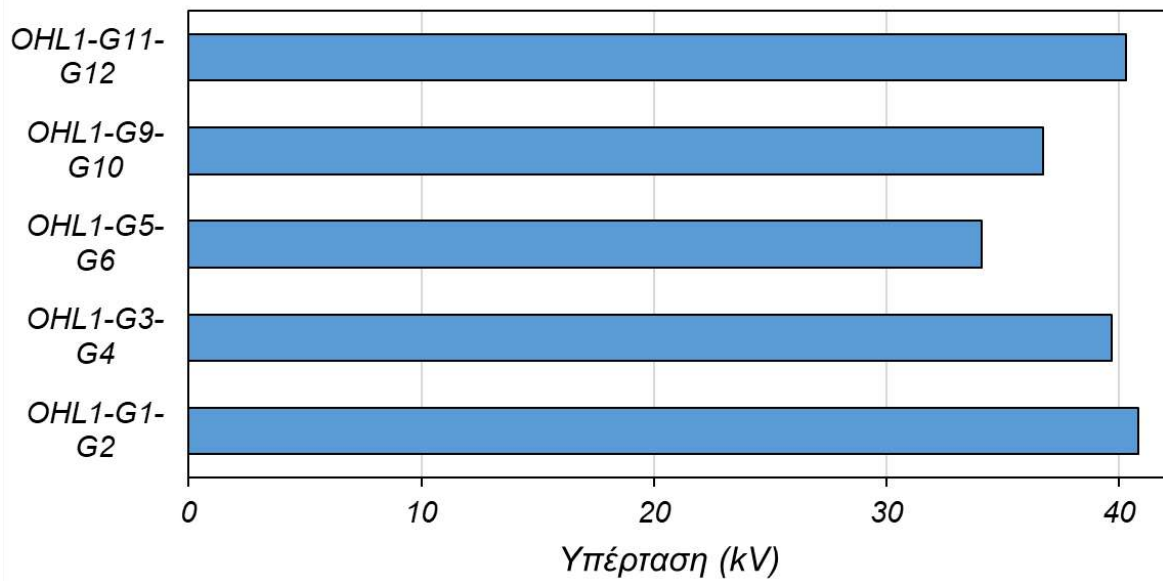
Εικόνα 149: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος TRH1



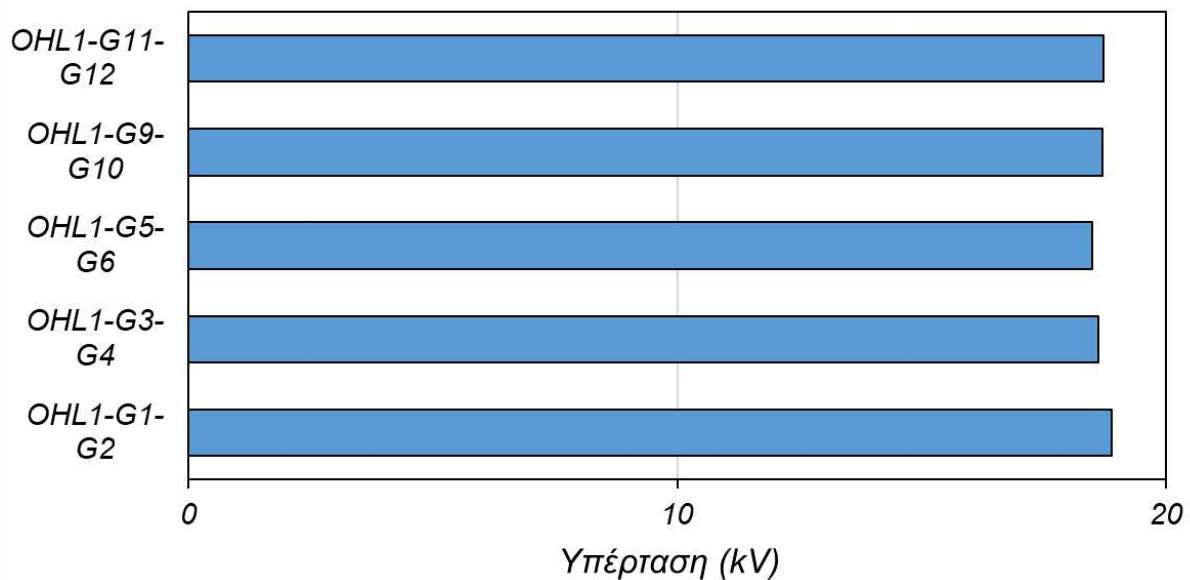
Εικόνα 150: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος TRL12



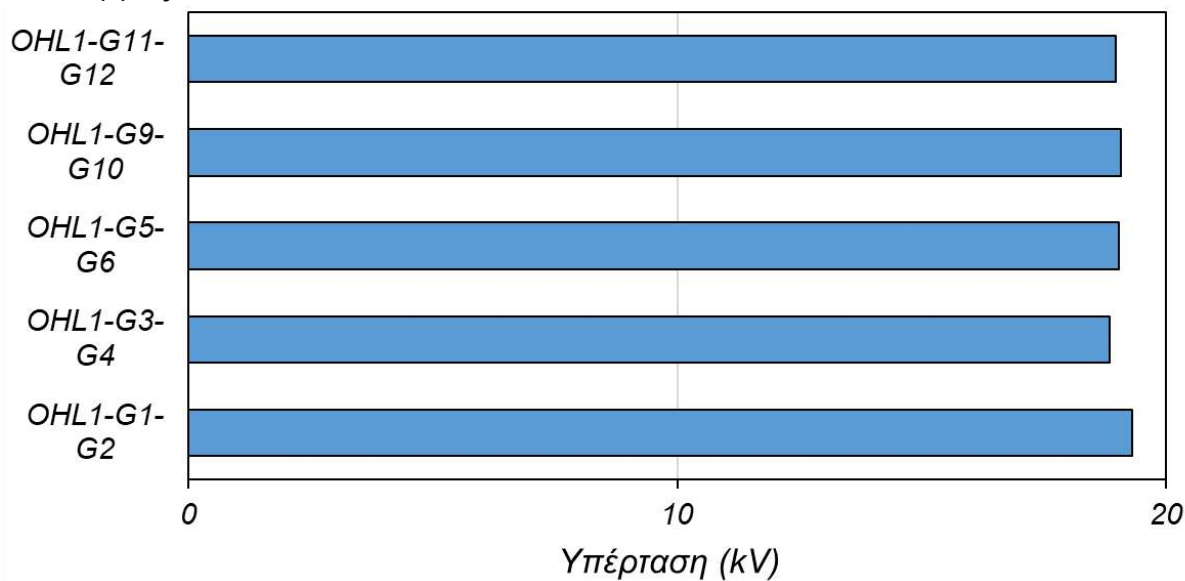
Εικόνα 151: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος G



Εικόνα 152: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

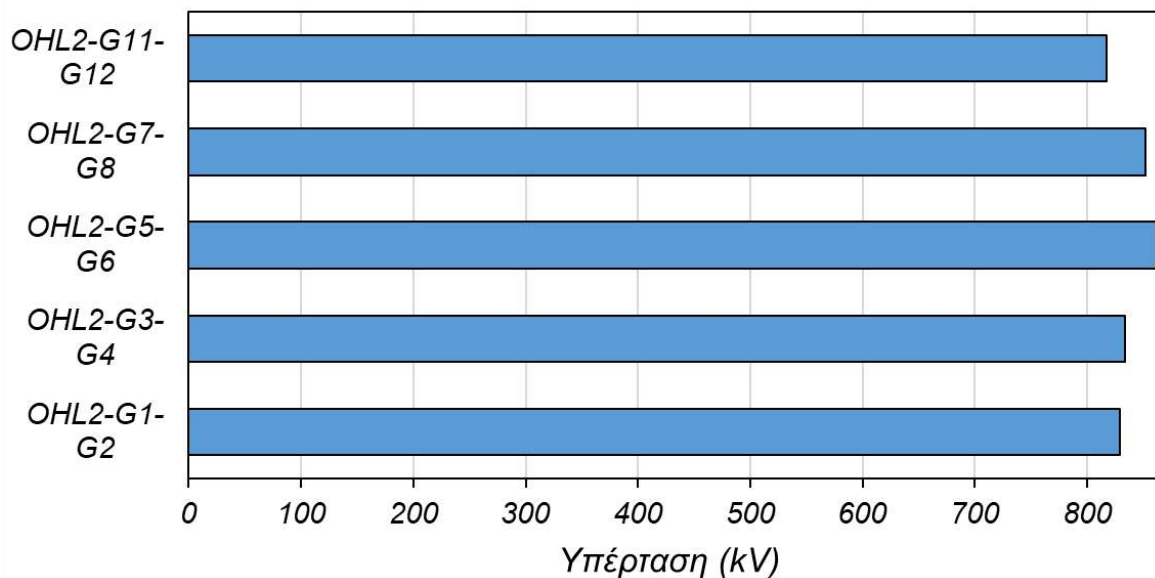
- **Κόμβος G**



Εικόνα 153: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL1 με δύο γεννήτριες

➤ **Για την OHL2**

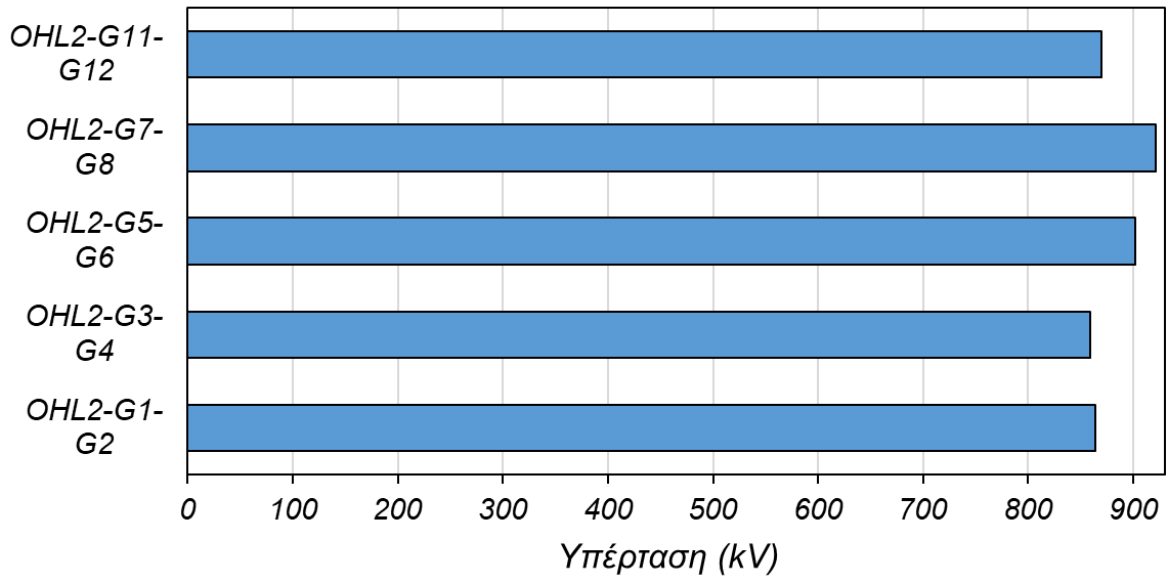
- **Κόμβος GISI1**



Εικόνα 154: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

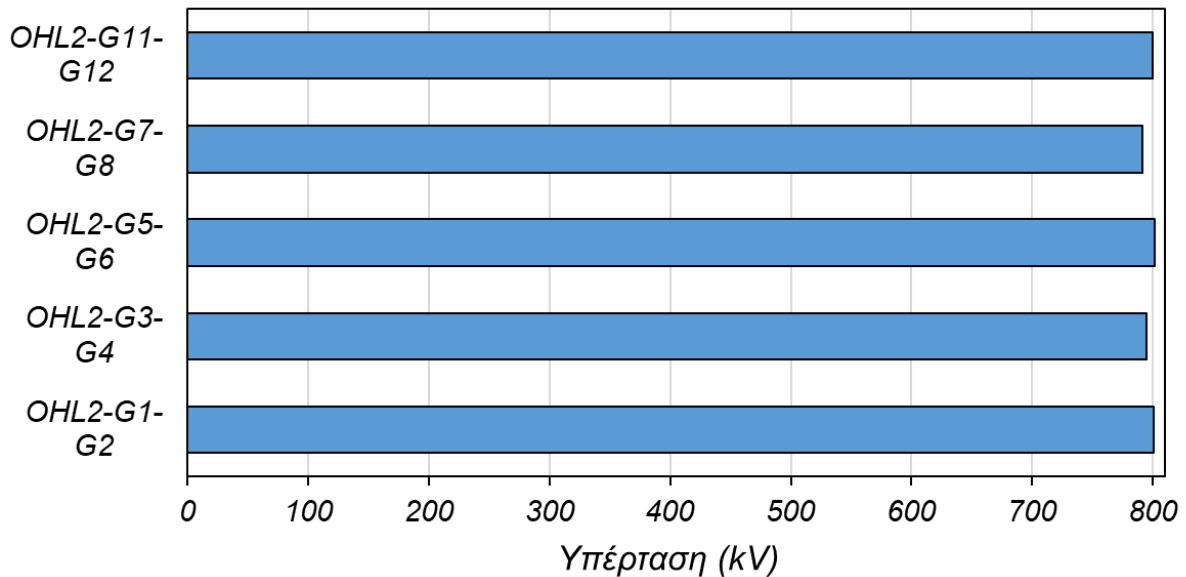
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος GIS01



Εικόνα 155: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

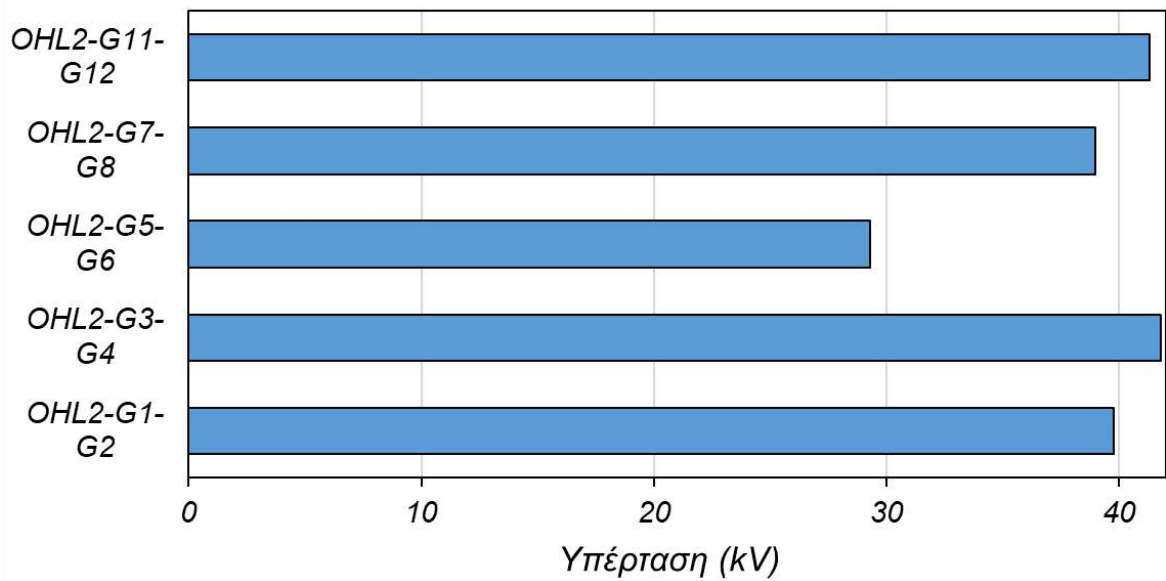
- Κόμβος TRH1



Εικόνα 156: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

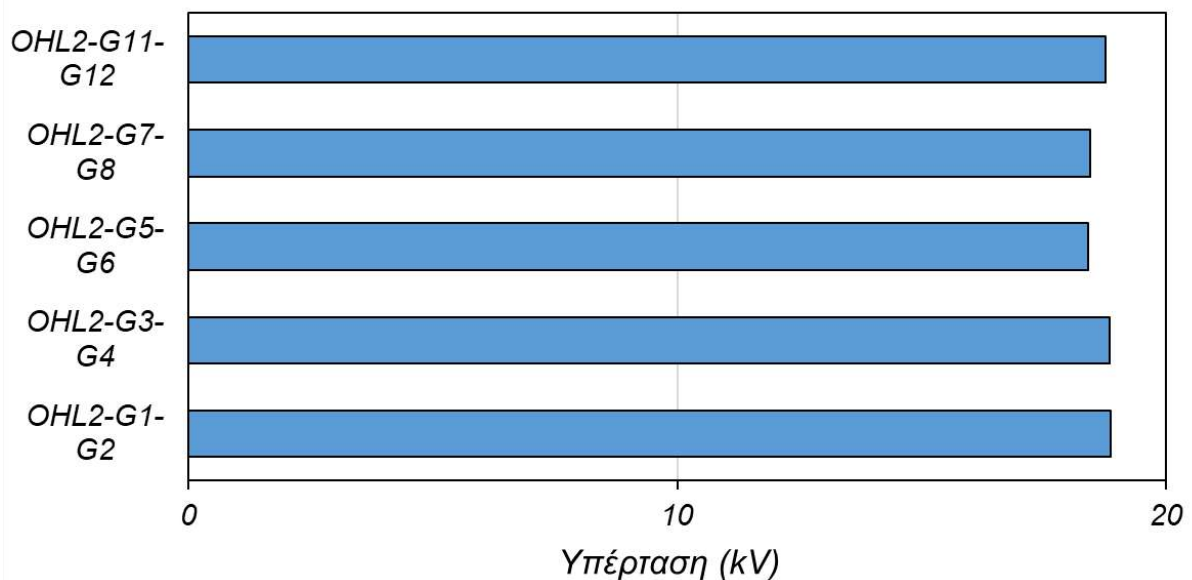
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος TRL12



Εικόνα 157: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

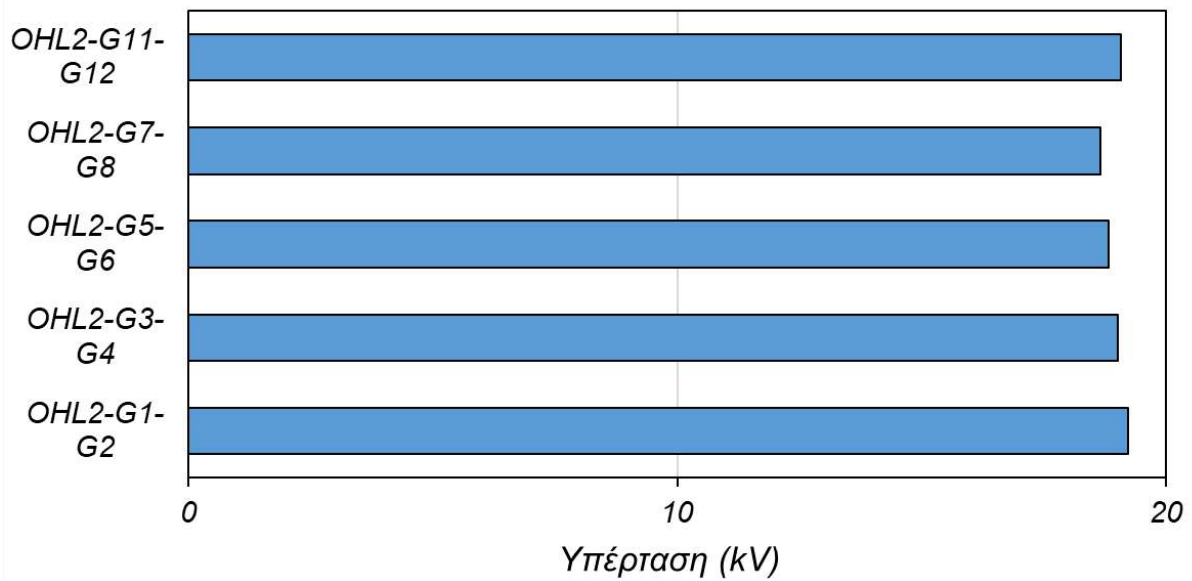
- Κόμβος G



Εικόνα 158: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

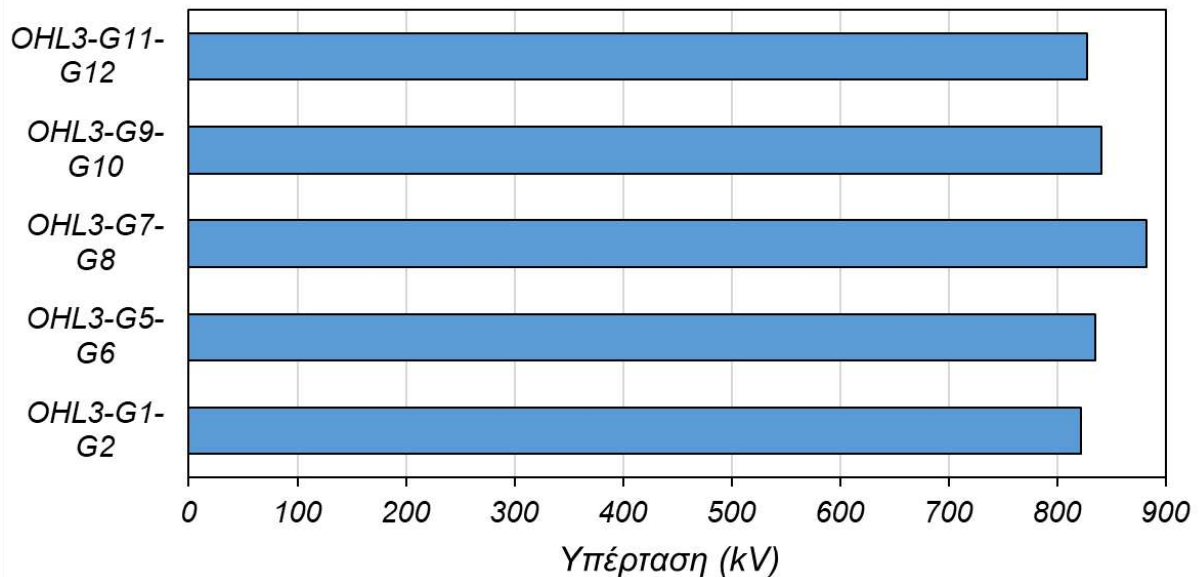
- Κόμβος G



Εικόνα 159: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL2 με δύο γεννήτριες

➤ Για την OHL3

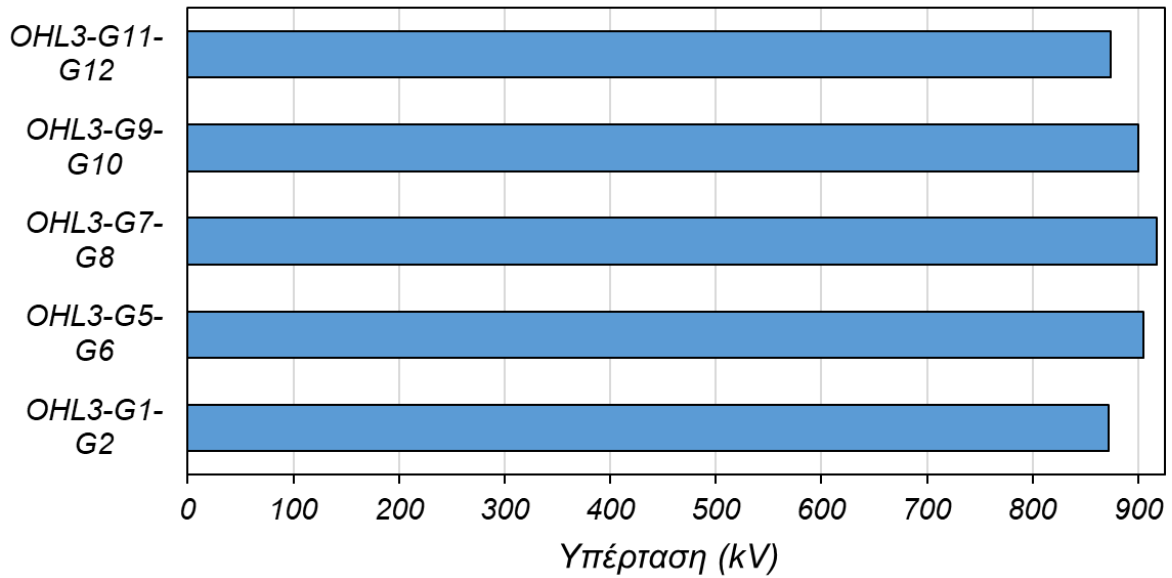
- Κόμβος GIS11



Εικόνα 160: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

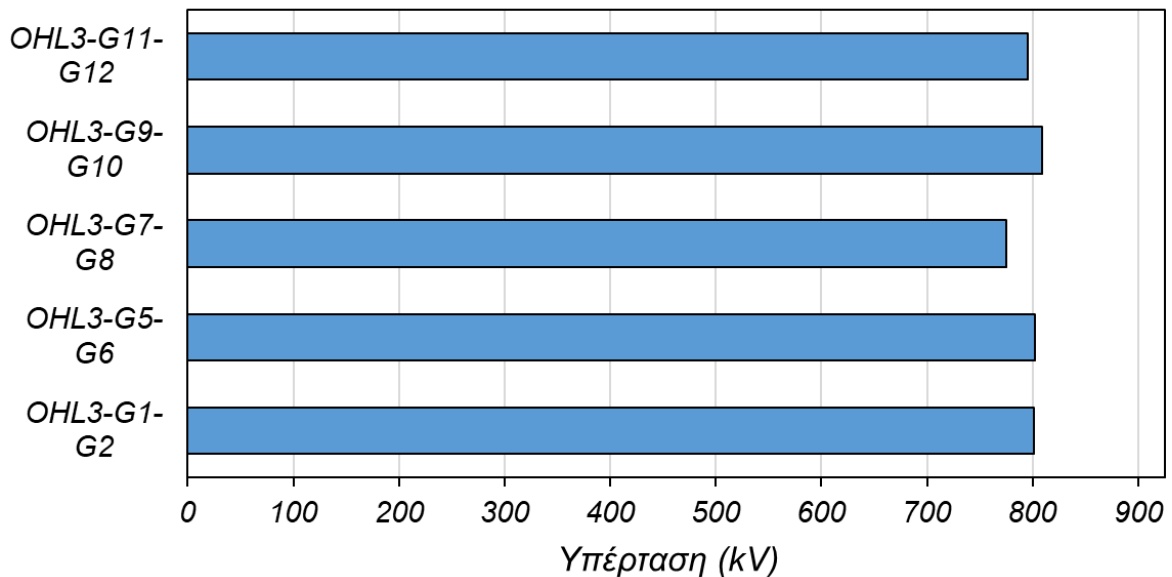
Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Κόμβος GIS01



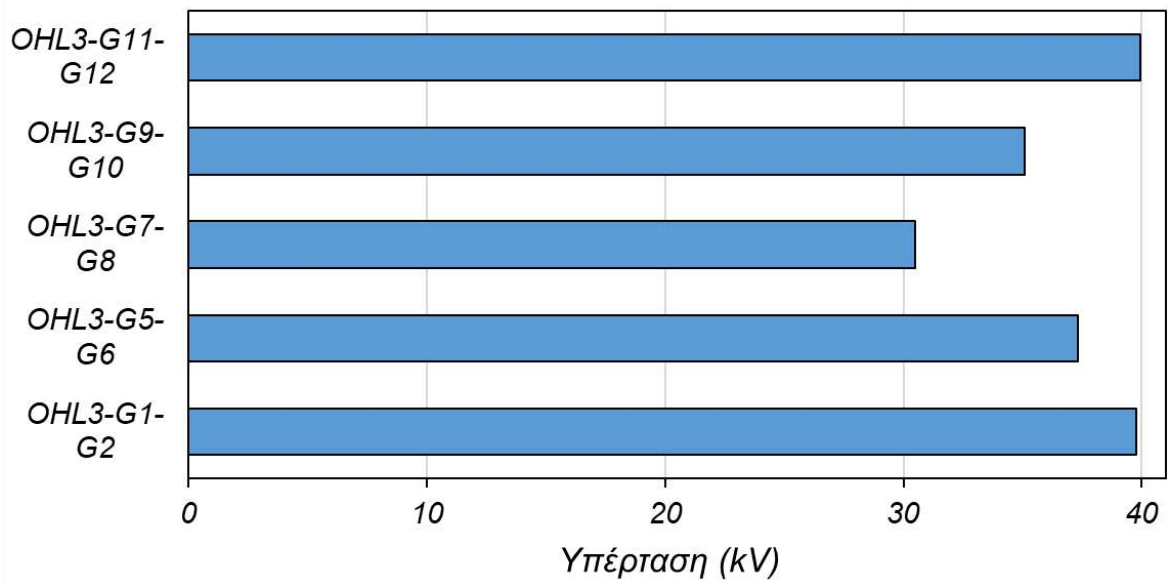
Εικόνα 161: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην έξοδο GIS, είσοδο του καλωδίου για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος TRH1



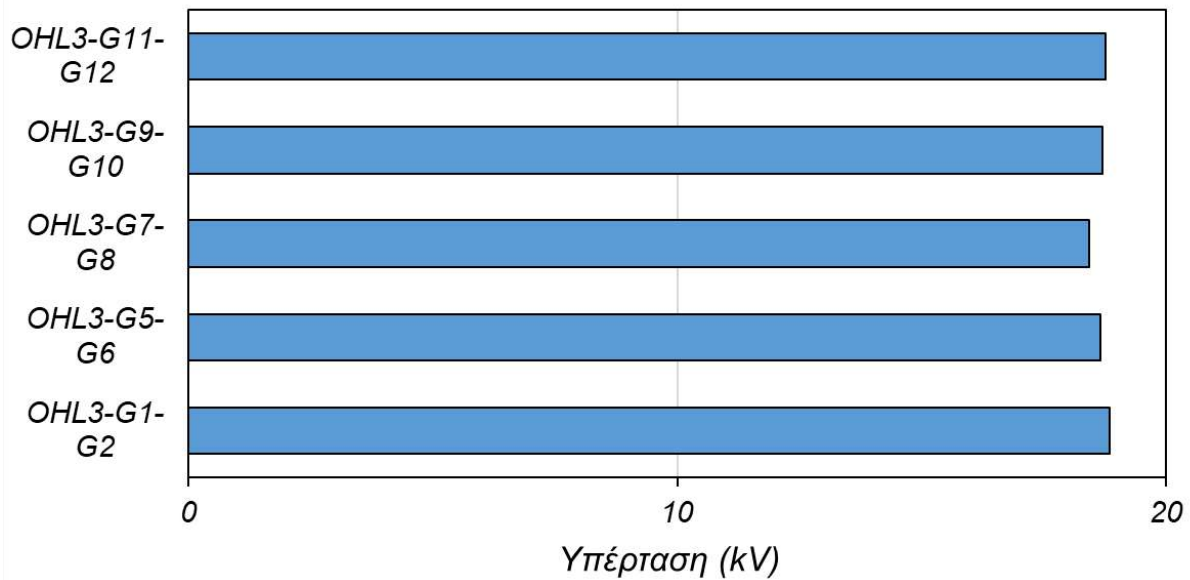
Εικόνα 162: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

• Κόμβος TRL12



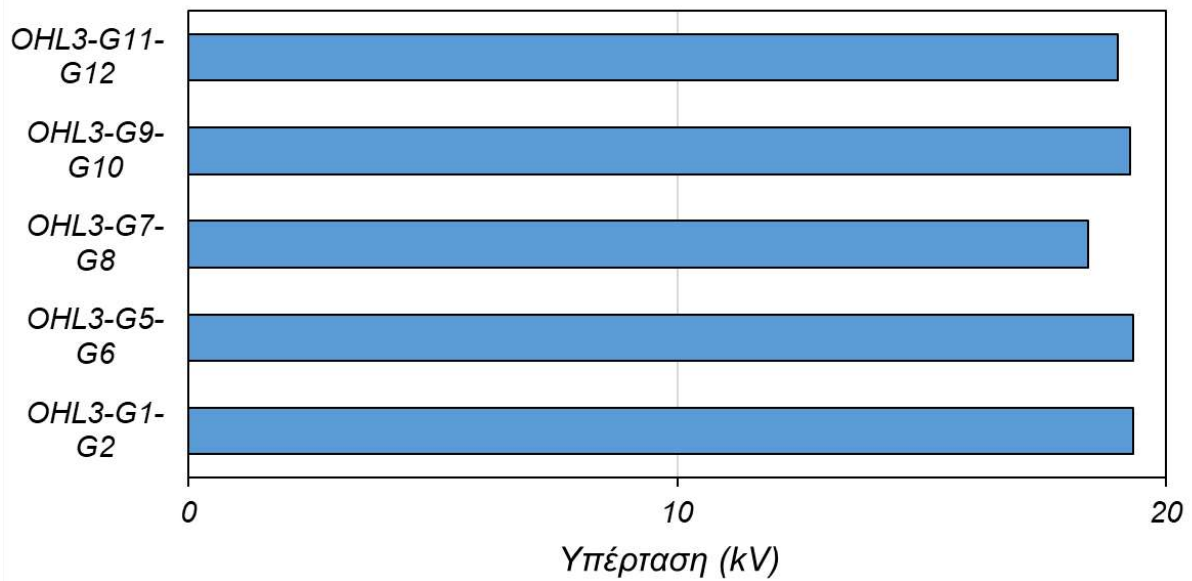
Εικόνα 163: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

• Κόμβος G



Εικόνα 164: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

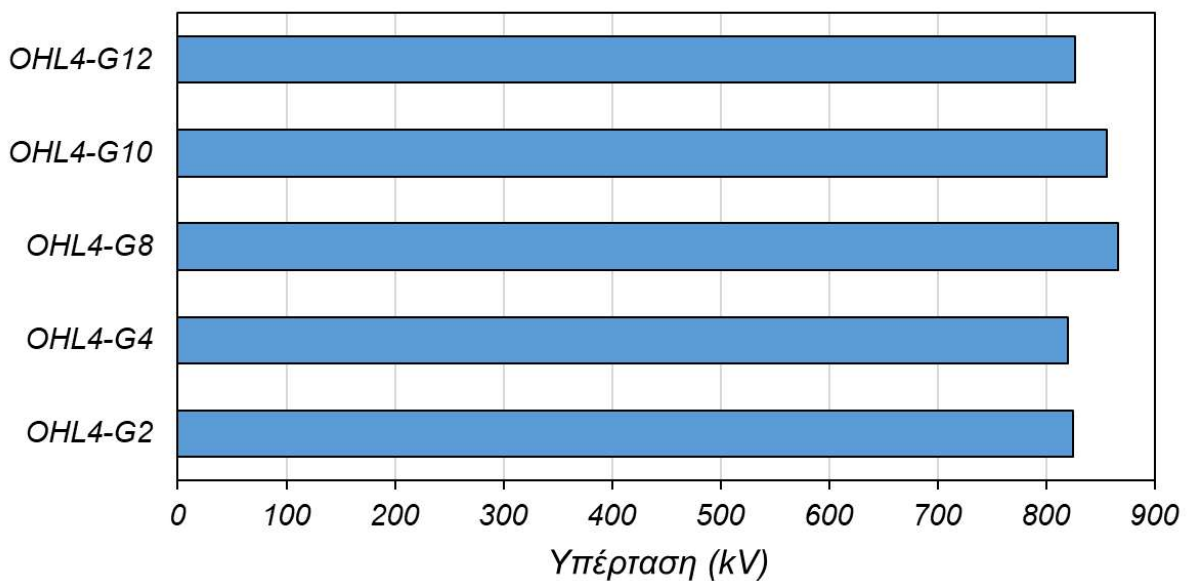
- Κόμβος G



Εικόνα 165: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL3 με δύο γεννήτριες

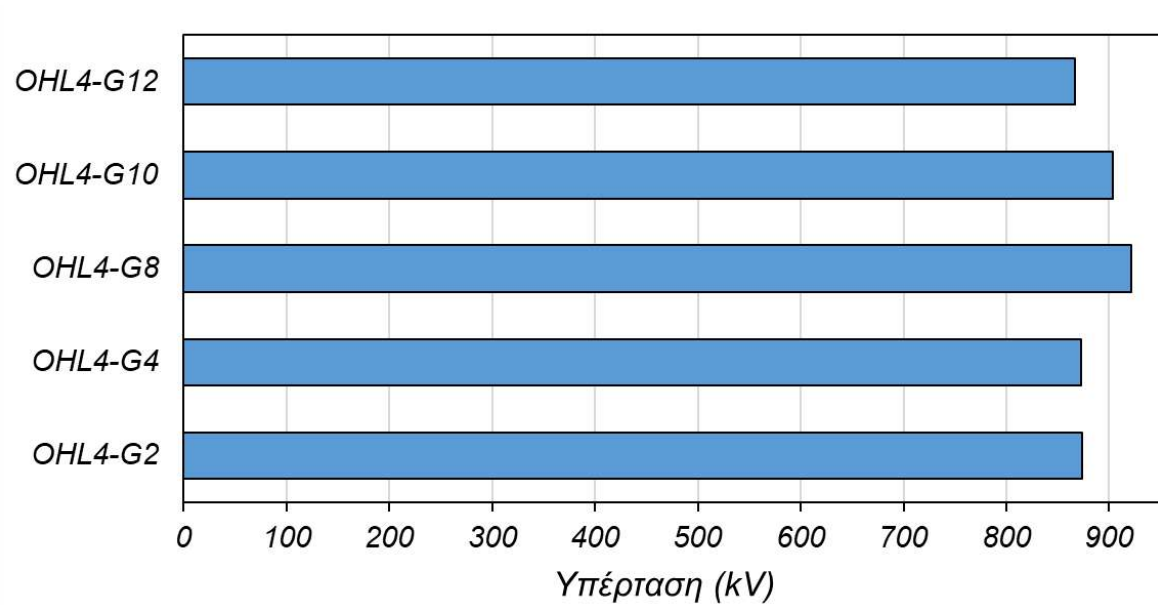
➤ Για την OHL4

- Κόμβος GISI1



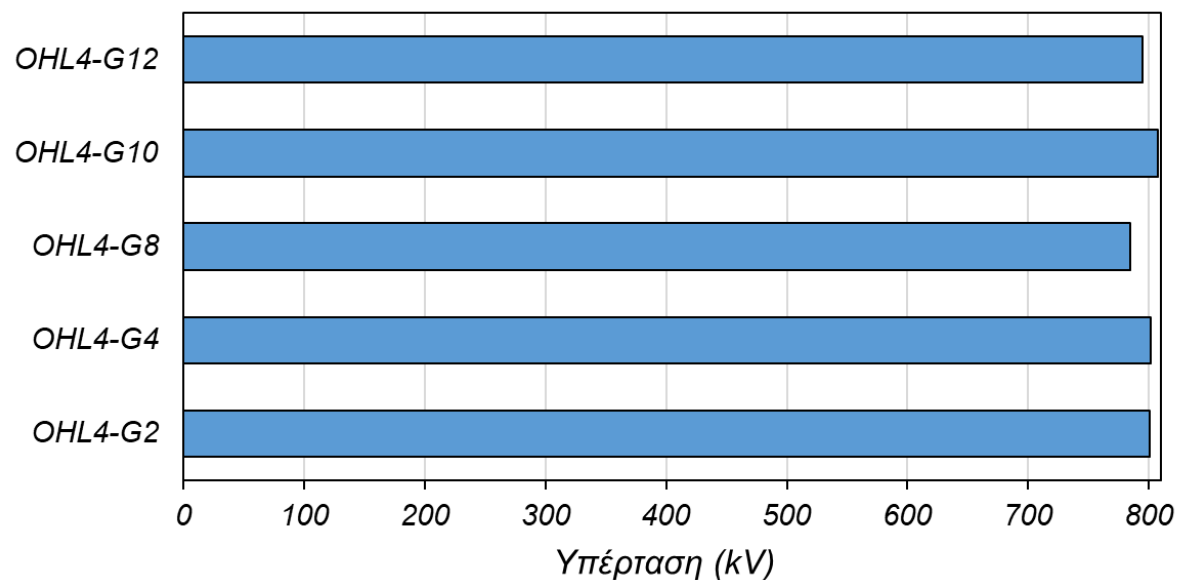
Εικόνα 166: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην είσοδο του Υ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

- **Κόμβος GIS01**



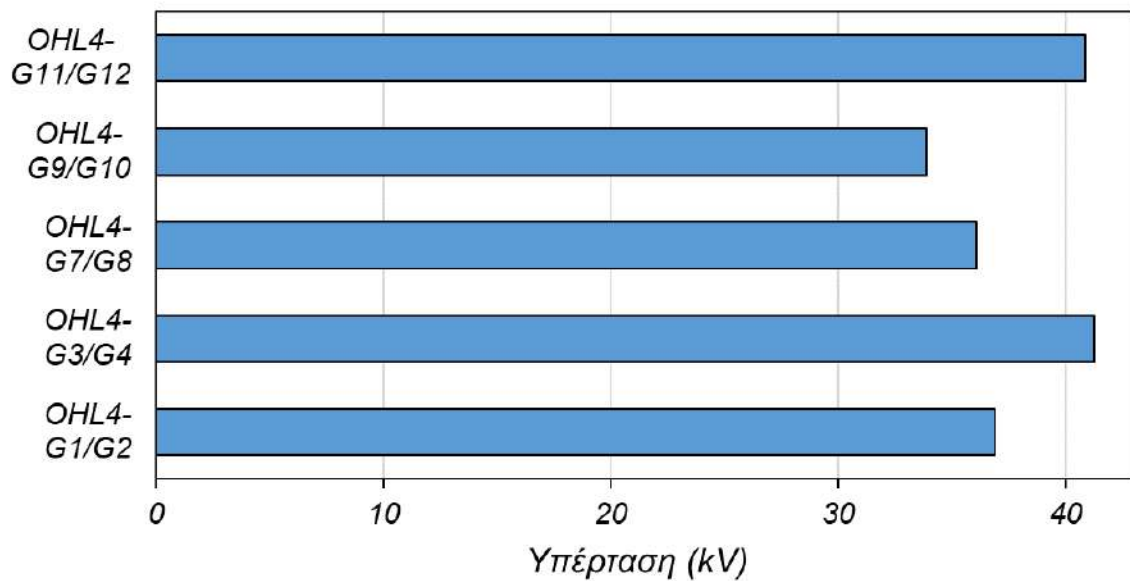
Εικόνα 167: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην έξοδο GIS του καλωδίου για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

- **Κόμβος TRH1**



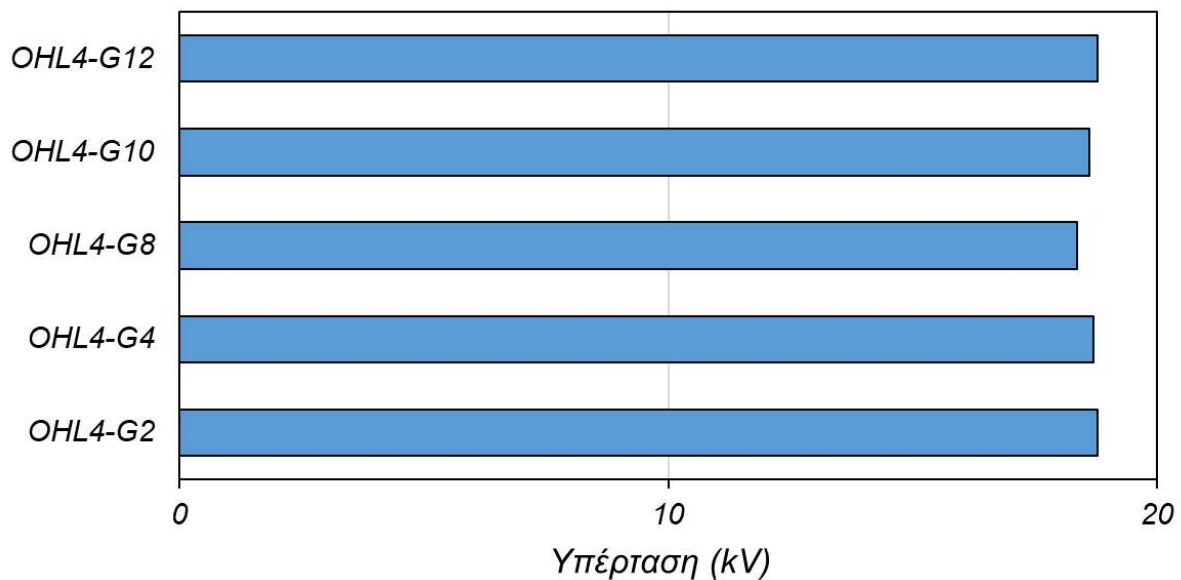
Εικόνα 168: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά υψηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις



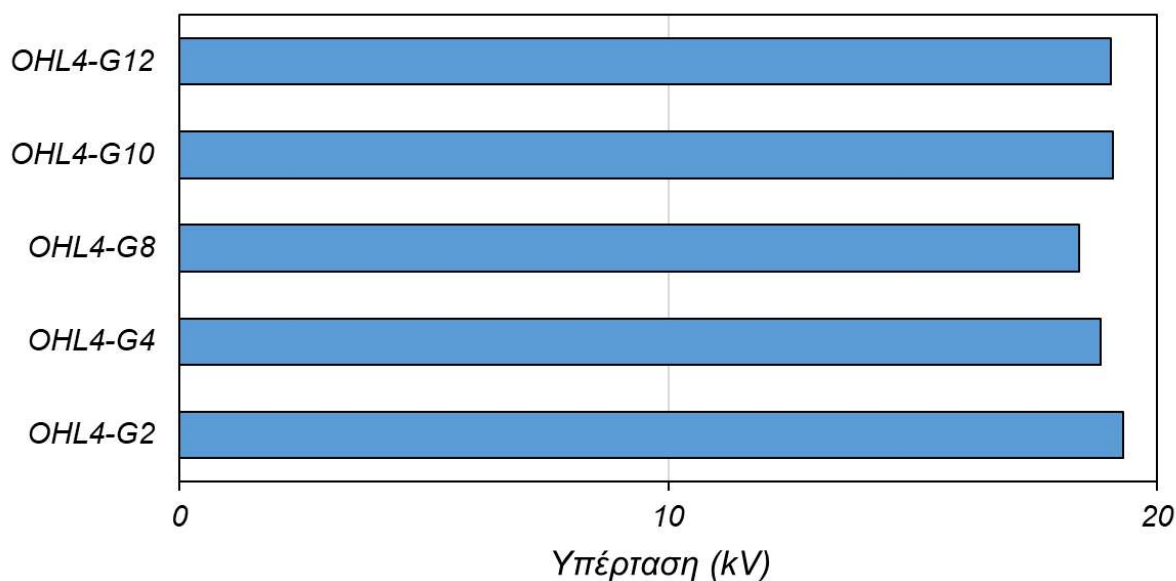
Εικόνα 169: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

- Κόμβος G



Εικόνα 170: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

- **Κόμβος G**



Εικόνα 171: Τιμές κορυφής υπερτάσεων στη γεννήτρια G για την περίπτωση πλήγματος σε αγωγό φάσης. Κάθε τιμή έχει προκύψει με συνδεδεμένη μόνο τη γραμμή μεταφοράς OHL4 με δύο γεννήτριες

Όπως και στην περίπτωση της μίας γεννήτριας, από τα παραπάνω γραφήματα μπορεί να παρατηρηθεί ότι η μεγαλύτερη τιμή κορυφής στους κόμβους GIS1 και GIS0 αντιστοιχεί με κάποιες εξαιρέσεις στις γεννήτριες G7, G8, οι οποίες έχουν τα μικρότερα καλώδια ισχύος (250 m), ενώ για τον Μ/Σ στις γεννήτριες G9, G10 (450 m καλώδια). Ωστόσο, υπάρχουν διαφοροποιήσεις ιδίως για τη γραμμή μεταφοράς OHL1.

4.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Αφού αναλύθηκαν τα αποτελέσματα των τοπολογιών του υποσταθμού που προσομοιώθηκαν και για τις περιπτώσεις ανάστροφης διάσπασης και κεραυνικού πλήγματος σε αγωγό φάσης (σφάλμα θωράκισης), μπορεί να γίνει σχολιασμός τους ώστε να προκύψουν κάποια συμπεράσματα.

- Αρχικά, σε όλες τις περιπτώσεις δεν υπήρξε καταστροφή του εξοπλισμού καθώς το βασικό επίπεδο μόνωσης (1425 kV για το GIS και τα καλώδια ισχύος και 1550 kV για τον μετασχηματιστή) δεν ξεπεράστηκε. Μάλιστα οι υπερτάσεις ήταν κάτω από 1 MV προσφέροντας σημαντικό συντελεστή ασφαλείας, άρα οι εγκατεστημένοι εκτροπείς υπέρτασης προσφέρουν ικανοποιητική προστασία έναντι κεραυνικών υπερτάσεων.
- Οι κυματομορφές στην ανάστροφη διάσπαση στους διάφορους κόμβους που εξετάστηκαν παρουσιάζουν ομοιότητες μεταξύ τους στην διάρκεια του μετώπου και ουράς ανεξάρτητα της τοπολογίας.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση του σφάλματος θωράκισης. Ωστόσο, οι κυματομορφές αυτές έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια σε σχέση με αυτές της ανάστροφης διάσπασης.
- Ο κόμβος στον οποίο προκύπτει η μεγαλύτερη υπέρταση και η θέση του κεραυνικού πλήγματος στην οποίο αντιστοιχεί η υπέρταση μεταβάλλεται χωρίς ξεκάθαρο συμπέρασμα. Πάντως μετά το καλώδιο ισχύος υψηλής τάσης οι υπερτάσεις μειώνονται αρκετά.
- Και στις δύο περιπτώσεις (ανάστροφη διάσπαση και σφάλμα θωράκισης) με την εισαγωγή δεύτερης γεννήτριας οι υπερτάσεις μειώθηκαν ελάχιστα.
- Την μεγαλύτερη απόκλιση παρουσιάζουν οι υπερτάσεις στην πλευρά χαμηλής του Μ/Σ κόμβος TRL12 όπου οι μεγαλύτερες υπερτάσεις παρουσιάζονται για την περίπτωση της ανάστροφης διάσπασης (BF) και συγκεκριμένα για την περίπτωση συνδεδεμένης μίας γραμμής μεταφοράς με μία γεννήτρια σε σχέση με τις αντίστοιχες SF.
- Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι για τις γραμμές μεταφοράς OHL2, OHL3, OHL4 οι μεγαλύτερες τιμές υπερτάσεων στην είσοδο και στην έξοδο του GIS παρουσιάζονται όταν είναι συνδεδεμένη η γεννήτρια G7 τόσο για την περίπτωση της σύνδεσης Μίας γραμμής μεταφοράς – μία γεννήτρια, όσο και για την σύνδεση με δύο γεννήτριες.
- Το παραπάνω πιθανόν να σχετίζεται με το μήκος των καλωδίων ισχύος. Αν και δεν βρέθηκε ξεκάθαρη συσχέτιση των υπερτάσεων με το μήκος, φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες υπερτάσεις στην είσοδο του GIS και στην έξοδο του GIS (είσοδο των καλωδίων ισχύος) παρουσιάζονται όταν είναι συνδεδεμένες οι γεννήτριες G7 και G8, δηλαδή για το καλώδιο μικρότερου μήκους. Αντίστοιχα στους μετασχηματιστές (έξοδος καλωδίου ισχύος) αντιστοιχούν στα ενδιάμεσα μήκη, δηλαδή ούτε στα πολύ μικρά ούτε στα πολύ μεγάλα.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η επίδραση της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης στις αναπτυσσόμενες υπερτάσεις λόγω κεραυνικών πλήγμάτων στις εισερχόμενες εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός μελετήθηκε υποσταθμός GIS 400 kV, ο οποίος ανυψώνει την τάση σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με 12 γεννήτριες. Οι γεννήτριες είναι ανά δύο συνδεδεμένες με ένα σύστημα μονοπολικών καλωδίων ισχύος στους ζυγούς. Η ανύψωση της τάση γίνεται με μετασχηματιστές ισχύος με τρία τυλίγματα (6 μετασχηματιστές συνολικά). Στη συνέχεια η ενέργεια πηγαίνει προς το δίκτυο με 4 γραμμές μεταφοράς μονού κυκλώματος με οριζόντιες τις φάσεις. Από τις γραμμές αυτές εισέρχονται οι κεραυνικές υπερτάσεις στον υποσταθμό. Εκτροπείς υπέρτασης υπάρχουν στην είσοδο της κάθε γραμμής μεταφοράς και στον κόμβο καλωδίου ισχύος και μετασχηματιστή υψηλής τάσης.

Αρχικά προσδιορίστηκαν οι περιπτώσεις προσομοίωσης που έχουν νόημα με βάση τη θέση των διακοπών ισχύος του υποσταθμού και την ενέργεια που πρέπει να μεταφερθεί. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα μοντέλα προσομοίωσης για την κάθε περίπτωση και εκτελέστηκαν οι προσομοιώσεις. Αυτές περιλαμβάνουν κεραυνικά πλήγματα στους πυλώνες της γραμμής (200 kA ως χειρότερη περίπτωση) και κεραυνικά πλήγματα στους αγωγούς φάσης της γραμμής (σφάλμα θωράκισης με το μέγιστο δυνατό ρεύμα βάσει ηλεκτρογεωμετρικού μοντέλου). Καταγράφηκαν οι κυματομορφές σε διάφορα σημεία (κόμβοι) του κυκλώματος και μετρήθηκαν οι μέγιστες τιμές των υπερτάσεων. Στη συνέχεια έγινε ανάλυση των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Διαπιστώθηκε ότι οι κυματομορφές υπερτάσεων λόγω πλήγματος κεραυνού στον πυλώνα (ανάστροφη διάσπαση της μόνωσης της εισερχόμενης γραμμής μεταφοράς) είναι παρόμοιες ποιοτικά σε όλες τις περιπτώσεις για τον ίδιο κόμβο. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση του κεραυνικού πλήγματος στον αγωγό φάσης (σφάλμα θωράκισης). Ωστόσο, ανάμεσα στις θέσεις κεραυνικού πλήγματος οι υπερτάσεις διαφέρουν σε μορφή, καθώς αυτές του σφάλματος θωράκισης έχουν μεγαλύτερη διάρκεια. Πάντως και στις δύο περιπτώσεις οι υπάρχοντες εκτροπείς υπέρτασης περιορίζουν τις υπερτάσεις επαρκώς ώστε να υπάρχει σημαντική διαφορά από το βασικό επίπεδο μόνωσης του εξοπλισμού του υποσταθμού.

Ανάμεσα στους διαφορετικούς κόμβους του κυκλώματος και στις περιπτώσεις πλήγματος κεραυνού στον πυλώνα και τον αγωγό φάσης, οι μεγαλύτερες υπερτάσεις μεταβάλλονται κατά περίπτωση και δεν μπορεί να υπάρξει σαφές συμπέρασμα. Αυτό οφείλεται στην περιπλοκότητα του κυκλώματος και στη συνδυαστική επίδραση των ανακλάσεων των οδευόντων κυμάτων και της προστασίας που παρέχουν εκτροπείς. Τα παραπάνω μεταβάλλονται με την απόσταση από τα σημεία ασυνέχειας και τα σημεία εγκατάστασης των εκτροπέων υπέρτασης.

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

Ένας παράγοντας που ενδέχεται να επηρεάζει τα αποτελέσματα είναι το μήκος των καλωδίων ισχύος υψηλής τάσης που υπάρχουν συνδεδεμένα. Βρέθηκε ότι σε γενικές γραμμές τα μικρότερα καλώδια ανάμεσα στο GIS και τον μετασχηματιστή ισχύος είναι αυτά που οδηγούν σε μεγαλύτερες υπερτάσεις στην είσοδο και την έξοδο του GIS. Αντίθετα στον μετασχηματιστή, οι μεγαλύτερες υπερτάσεις αντιστοιχούν στα καλώδια ενδιάμεσου μήκους. Βέβαια, στα παραπάνω υπήρχαν και εξαιρέσεις. Τέλος, σημειώνεται ότι η σύνδεση δύο γεννητριών μείωσε ελάχιστα τις υπερτάσεις.

Ως μελλοντική δουλειά προτείνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων και για τις υπόλοιπες τοπολογίες που έχουν νόημα. Επίσης, προτείνεται η επανάληψη της διερεύνησης σε υποσταθμούς με διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως είδος μόνωσης, επίπεδο τάσης και μόνωσης, ύπαρξης ή όχι καλωδίων ισχύος.

Βιβλιογραφία

- [1] L. van der Sluis and N. Uzelac, *Equipment in Power Systems*, Chapter 2, pp. 11-62, in: H. Ito (ed.), *Switching Equipment*, CIGRE Green Books, CIGRE Study Committee A3: High Voltage Equipment, Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 2019.
- [2] G. G. Karady, *Concept of Energy Transmission and Distribution*, Chapter 8, in: L. L. Grigsby (ed.), *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution*, Electric Power Engineering Handbook, 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2007.
- [3] T. Krieg and J. Finn (eds.), *Substations*, CIGRE Green Books, CIGRE Study Committee B3: Substations, Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 2019.
- [4] AIS Substations, Hitachi energy, [Σύνδεσμος](#).
- [5] Yi Xiao, Yu Yan, YiSheng Yu, Biao Wang, YunHua Liang, Research on pose adaptive correction method of indoor rail mounted inspection robot in GIS Substation, *Energy Reports*, Volume 8, Supplement 6, 2022, Pages 696-705
- [6] Research on pose adaptive correction method of indoor rail mounted inspection robot in GIS Substation, *Energy Reports*, Volume 8, Supplement 6, 2022, Pages 696-705, ISSN 2352-4847
- [7] W. Degen and H. Koch, "Applications of Mixed Technology Switchgear (MTS)," *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Chicago, IL, USA, 2008.
- [8] GE Gernova, *Power Transformers*, [Σύνδεσμος](#).
- [9] D. Peelo, *Disconnecting Switches and Earthing Switches*, Chapter 9, pp. 296-323, in: H. Ito (ed.), *Switching Equipment*, CIGRE Green Books, CIGRE Study Committee A3: High Voltage Equipment, Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 2019.
- [10] Carlos Felipe Ramirez, G.: *Subestaciones De Alta Y Extra Alt Tensión*, First Edition Revised. Impression Editorrial Cadena S.A. (1991)
- [11] Schneider Electric, *Busbars, types, advantages, disadvantages*, [Σύνδεσμος](#).
- [12] EEPower, *Types of Surges Arresters*, [Σύνδεσμος](#).
- [13] CIGRÉ TB 544: MO surge arresters-stresses and test procedures (2013)
- [14] IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations" in IEEE Std 998-1996 , vol., no., pp.1-176, 15 Feb. 1996.
- [15] A. R. Hileman, *Insulation Coordination for Power Systems*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 1999.
- [16] Ζ. Γ. Δάτσιος, «Διερεύνηση του Φαινομένου Ιονισμού του Εδάφους γύρω από Συγκεντρωμένα Συστήματα Γείωσης: Επίδραση στην Κεραυνική Συμπεριφορά Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2017.
- [17] Ζ. Δάτσιος, *Υψηλές Τάσεις Ι, 2η Διάλεξη Θεωρίας Μεταβατικά Φαινόμενα, Υπερτάσεις και Συντονισμός Μονώσεων Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (α)*, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη (2022).
- [18] Classes and Shapes of Over Voltages as per IEC 60071-1
- [19] J. R. Marti, "Accurate modelling of frequency-dependent transmission lines in electromagnetic transient simulations," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-101, no. 1, pp. 147-157, 1982.
- [20] IEEE Working Group on Lightning Performance of Transmission Lines, "A simplified method for estimating lightning performance of transmission

Διερεύνηση της επίδρασης της τοπολογίας υποσταθμού υψηλής τάσης 400 kV GIS στις αναπτυσσόμενες κεραυνικές υπερτάσεις

- lines," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. PAS-104, no. 4, pp. 919-932, 1985.
- [21] M. A. Sargent and M. Darveniza, "Tower surge impedance," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-88, no. 5, pp. 680-687, 1969.
- [22] P. N. Mikropoulos, T. E. Tsovilis, Z. G. Datsios, and N. C. Mavrikakis, "Effects of simulation models of overhead transmission line basic components on backflashover surges impinging on GIS substations," in Proc. 45th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC), Cardiff, Wales, August 2010, paper no. 72.
- [23] Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, and T. E. Tsovilis, "Impulse resistance of concentrated tower grounding systems simulated by an ATPDraw object", in Proc. International Conference on Power Systems Transients (IPST), Delft, The Netherlands, 2011, paper no. 39.
- [24] Z. G. Datsios and P. N. Mikropoulos, "Implementation of leader development models in ATP-EMTP using a type-94 circuit component," in Proc. 32nd International Conference on Lightning Protection (ICLP), Shanghai, China, 2014, pp. 735-741, paper no. 270.
- [25] Z. G. Datsios and P. N. Mikropoulos, "Modeling of lightning impulse behavior of long air gaps and insulators including predischage current: Implications on insulation coordination of overhead transmission lines and substations," Electric Power Systems Research, vol. 139, pp. 37-46, 2016.
- [26] CIGRE Working Group 33.01, "Guide to procedures for estimating lightning performance of transmission lines," Technical Brochure 63, 1991.
- [27] L. Bergeron, "Etude des variation de régime dans les conduits d' eau: Solution graphique générale," Revue Générale de l'Hydraulique, vol. 1, pp. 12 and 69, 1935. (in French)
- [28] L. Bergeron, "Du coup de béliier en hydraulique - Au coup de foudre en électricité: Méthode graphique générale," Dunod, Paris, 1950. (in French), English translation: "Water hammer in hydraulics and wave surges in electricity," John Wiley & Sons, New York, 1961.
- [29] P. Pinceti and M. Giannettoni, "A simplified model for zinc oxide surge arresters," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 14, no. 2, pp. 393-398, 1999.
- [30] M. Caserza Magro, M. Giannettoni, and P. Pinceti, "Validation of ZnO surge arresters model for overvoltage studies," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, no. 4, pp. 1692-1695, 2004.
- [31] IEEE Fast Front Transients Task Force, "Modeling guidelines for fast front transients," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, no. 1, pp. 493-506, 1996.
- [32] A. Borghetti, A. Morched, F. Napolitano, C. A. Nucci, and M. Paolone, "Lightning-induced overvoltages transferred through distribution power transformers," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 1, pp. 360-372, 2009.
- [33] Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, and T. E. Tsovilis, "Effects of lightning channel equivalent impedance on lightning performance of overhead transmission lines," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 61, no. 3, pp. 623-630, 2019.
- [34] IEEE Guide for improving the lightning performance of transmission lines, IEEE Std 1243-1997, 1997.